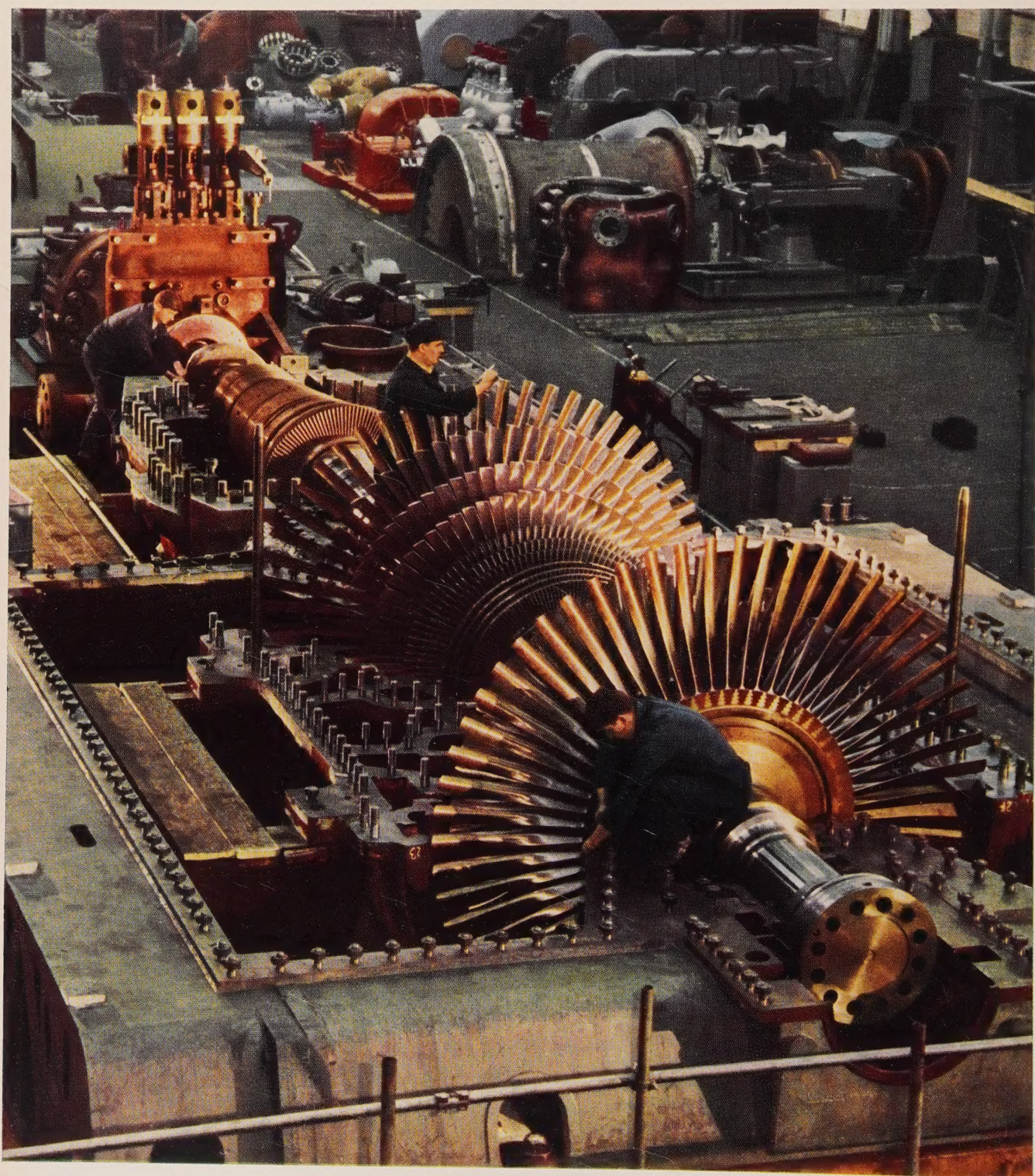


## INHALT

HELD	Kabel für höchste Übertragungsspannungen .....	129
LINKE	Übertragungsleistungen und -verluste von Ölkabeln .....	140
KALTENECKER/ STEINBORN	Das Prozeß-Signalsystem, seine Konstruktion und Anlagentechnik .....	144
HEIMKE	Einbauvorrichtungen für ARDOMETER .....	150
LEIBOLD	Schnellumschaltgerät für Hochspannungsanlagen .....	154
GEORG/MITTERER	Ein neues elektronisches Zentralprüfsender-Gestell für Fernschreibnetze .....	159
LANGER	Stetig geregelter Schwingquarz-Thermostat für gedruckte Schaltungen .....	164
LIEBE/BOLDIN	Die kalorimetrischen Verfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Großmaschinen .....	166
FUSSAN	Neuerungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Maschinen nach dem Auslaufverfahren .....	173
RABL	Anwendung einer Thermowaage für Untersuchungen bei der SIFERRIT-Herstellung .....	177
GEISSING/MÖLTGEN	Über die Blindleistung beim Stromrichter mit Nullanoden für Gleichstrom-Fördermaschinen .....	181
 TECHNISCHE BERICHTE  		
HOLTZ	Neue PROTOMONT-Schrämleitungen mit erhöhter Druck- und Zugfestigkeit	186
GROTE	Paarweise an eine Teilnehmerleitung anschließbare Fernsprecher .....	188
BECKER	Ein neues HF-Sendekabel größten Durchmessers .....	188
GEBHARDT	Das neue Gleisbildstellwerk eines Luxemburger Hüttenwerkes .....	190
MÜLLER	Wasserkraftgenerator hoher Drehzahl und Leistung für Bistrica (Jugoslawien) .....	190
SIEMENS-SCHRIFTTUM .....		192





Dreigehäusige Kondensations-Dampfturbine für 160 MW, 3000 U/min im Prüffeld des Mülheimer Werkes.  
Die Niederdruck-Endschaufeln sind 750 mm lang



## Kabel für höchste Übertragungsspannungen

VON CHRISTIAN HELD

Die Frage »Freileitungen oder Kabel?«, vor die man bei Energie-Übertragungsproblemen mit Höchstspannung gestellt ist, wurde noch vor knapp 35 Jahren meistens sehr schnell und eindeutig zugunsten der Freileitung entschieden. Damals gab es zwar bereits »Höchstspannungskabel«, um deren Betriebssicherheit es aber nicht zum besten stand. Dabei handelte es sich durchweg um massegetränkte Papierbleikabel, die trotz Adermetallisierung nach HÖCHSTÄDTER nur bis maximal 60 kV ausreichten. Erst durch die Erfindung des ölgefüllten Kabels, das sich um 1927 in ersten Großanlagen durchzusetzen begann, gelang es, mit Kabeln auf dem eigentlichen Gebiet der Höchstspannungen, d. h. zunächst in dem Bereich bis 132 kV, sicher Fuß zu fassen [1]. Die Frage »Freileitungen oder Kabel?« blieb noch lange Zeit eine technische Frage, da es erst im Laufe der folgenden Jahrzehnte schrittweise gelang, die Spannungsgrenze für Kabel bis zu den höchsten Übertragungsspannungen hinaufzusetzen.

Beim heutigen Entwicklungsstand der Kabeltechnik stehen Kabel, rein technisch gesehen, ebenbürtig neben der Freileitung, in mancher Hinsicht haben sie sogar wesentliche Vorzüge. Kabel sind jedoch nach wie vor teurer als die leistungsgleiche Freileitung; die anfangs eindeutig technische Frage ist eine überwiegend wirtschaftliche geworden. In manchen Fällen ist aber die billigere Freileitung nicht verwendbar; hier werden dann Kabel eingesetzt.

Es gibt viele dem Kabel vorbehaltene Anwendungsfälle: Niemand kommt heute mehr auf den Gedanken, mit einer 110- oder 220-kV-Freileitung in das Weichbild einer Stadt einzudringen oder es zu durchqueren, wobei auch Erfordernisse der Stadtplanung und -gestaltung eine wichtige Rolle spielen können; das Überqueren von breiten Flüssen, Seen oder Meeresarmen bleibt trotz hochentwickelter Freileitungstechnik in den meisten Fällen den Kabeln vorbehalten. Aus tiefliegenden Kavernen-

kraftwerken kann die Energie mit Kabeln einfacher her- ausgeführt werden, und schließlich gibt es Fälle, in denen raumzehrende Freileitungen nicht geeignet sind, große Energiemengen aus Schaltanlagen abzuführen.

Hat man sich aus einem dieser Gründe für eine Kabel- verbindung entscheiden müssen, so ist die Frage zu be- antworten, welche Kabelbauart für den gegebenen Fall am zweckmäßigsten ist.

Diese Frage war noch vor 30 Jahren leicht zu entschei- den. Damals stand als einzige für Höchstspannungen brauchbare und wirklich betriebssichere Kabelkonstruk- tion das ölgefüllte Kabel zur Verfügung. Inzwischen wurde in dem Bestreben, entweder die lizenzpflichtige Ölkabelbauweise zu umgehen oder um vermeintliche Nachteile oder Komplikationen des Ölkabels zu vermei- den, eine Reihe neuer Kabelkonstruktionen entwickelt, die, mit Skepsis aufgenommen, schließlich so durchge- bildet wurden, daß sie heute im Spannungsbereich bis etwa 300 kV als mögliche Varianten in die engere Wahl gezogen werden können. Für noch höhere Nennspan- nungen kommen, um es vorweg festzustellen, auch heute noch nur ölgefüllte Kabel in Betracht.

Sich für eine der angebotenen zahlreichen Kabelkon- struktionen zu entscheiden, dürfte dem für die Energie- versorgung Verantwortlichen nicht immer leicht fallen, sofern er nicht für eine bei ihm bereits eingeführte Kon- struktion eingenommen ist und den Übergang zu einer neuen Kabelbauart scheut; denn jedes Kabelwerk pflegt für sein Erzeugnis mit Argumenten zu werben, die, für sich genommen, durchaus zutreffen können, jedoch nicht stets das breite Spektrum aller wichti- gen Betriebsbelange berücksichtigen. Tatsächlich hat jede der bekannten Konstruktionen markante Vorteile, denen aber immer gewisse Nachteile in anderer Richtung gegenüberstehen. Die Wahl einer bestimmten Kabelbau- art wird also immer einen Kompromiß in der einen oder



anderen Hinsicht darstellen. Bei der Planung einer Kabelanlage müssen viele wichtige Faktoren berücksichtigt und in ihrer Auswirkung gegeneinander abgewogen werden, bevor die endgültige Wahl einer Kabelkonstruktion getroffen werden kann.

### Mechanische Gesichtspunkte für die Wahl der Kabelbauart

Schon der unterschiedliche mechanische Aufbau und damit das unterschiedliche mechanische Verhalten der einzelnen Kabelbauarten setzt beim Verbraucher eine kritische und vorausschauende Beurteilung der gegebenen örtlichen Verhältnisse und der zu erwartenden Betriebsanforderungen voraus. Können die Kabel außerhalb des bebauten Geländes unter normalen Bodenverhältnissen verlegt werden, so kann man sich, vom mechanischen Standpunkt aus gesehen, ohne weiteres für irgendeine der bekannten und bewährten Konstruktionen entscheiden. Eine Ausnahme sind Bergsenkungsgebiete, wo sich Kabel in Rohrausführung einer gewissen Bevorzugung erfreuen; wie die Erfahrung beweist, sind dort jedoch auch Kabel mit Blei- oder Aluminiummantel möglich, wenn sie in Wellen- oder Schlangenlinienform in Kanälen ausgelegt werden. Kabelverbindungen in Stadtgebieten sind schwieriger zu planen [2]. Sind die Straßenzüge breit und geradlinig, so können, wie es in vielen deutschen und ausländischen Großstädten der Fall ist, außer Kabeln klassischer Bauart auch Rohrkabel vorgesehen werden. Bei Blei- und Aluminiummantelkabeln ist im Gegensatz zu Rohrkabeln eine spätere Umlegung ohne weiteres, und ohne schneiden zu müssen, möglich. Wie die Erfahrung lehrt, sind nachträgliche und nicht vorhersehbare Trassenänderungen beim Wiederaufbau der Städte und beim Bau neuer Verkehrswege gelegentlich erforderlich und unumgänglich.

Höchstspannungskabel in Einleiter- und Dreileiterausführung sind überwiegend mit Bleimänteln versehen, deren Korrosionsbeständigkeit unbestritten ist. Kabel mit Aluminiummantel benötigen einen besonders sorgfältigen Korrosionsschutz [3]. Beim Legen dieser Kabel und besonders beim Einziehen in Unterführungsrohre muß peinlich darauf geachtet werden, daß der Korrosionsschutz an keiner Stelle beschädigt wird, weil sonst (u. U. erst nach Jahren) Störungen auftreten können, die wegen der großen Übertragungsleistung neuzeitlicher Höchstspannungskabel besonders unangenehm wären.

Einleiterkabel haben den Vorzug, daß sie sich in schmalen, krümmungsreichen Straßen gut den beengten örtlichen Verhältnissen anpassen; daß man dabei wegen großer Lieferlängen mit weniger Muffen auskommt, spricht ebenso für die Verwendung von Einleiterkabeln. Wird Aluminium als Mantelmaterial gewählt, so vermindert sich das Kabelgewicht wesentlich; dadurch läßt sich zwar Verlegepersonal einsparen, jedoch wird dieser Vorteil durch die erforderliche sorgfältigere Legung z. T. wieder aufgehoben. Verläuft die Kabel-

trasse über Brücken oder längs stark befahrener Straßen oder Schienenwege, so gibt die Verwendung von Aluminium als Mantelmaterial außerdem die beruhigende Sicherheit, daß interkristalline Schwingungsbrüche des Mantels nicht zu befürchten sind. Aber auch die Technik der Bleilegierungen hat einen so hohen Stand erreicht, daß Bleikabel als schwingungssicher gelten können, falls nicht äußerst ungünstige Verhältnisse vorliegen.

Ein- und Mehrleiterkabel für höchste Spannungen und Leistungen mit Blei- oder Aluminiummantel pflegt man zusätzlich durch eine Abdeckung mit Ziegelsteinen oder Betonplatten gegen Beschädigung bei Grabarbeiten zu schützen. Diese Bettungsart hat sich im allgemeinen als völlig ausreichend erwiesen.

Im Jahre 1932 ist eine Kabelkonstruktion bekannt geworden, bei der die stromführenden Adern in ein Stahlrohr eingezogen werden. Dieses Stahlrohr ist das charakteristische Merkmal vieler Druck-, Gasinnen- und Öldruckkabelanlagen geworden.

Stahlrohre schützen das Kabel ohne Zweifel besonders gut vor mechanischen Beschädigungen, schließen aber, wie die Praxis beweist, ein gelegentliches Versagen nicht aus [4]. Rohrkabel setzen jedoch eine Trassenführung mit wenigen Krümmungen voraus; auch spätere Umlegungen, die oft nicht zu vermeiden sind, können nur schwer und mit großem Kostenaufwand durchgeführt werden. Ob überhaupt und inwieweit Rohrkabel einen schmalen Kabelgraben beanspruchen und bei der Legung eine geringere Störung des Straßenverkehrs bedingen, als dies bei Mehrleiterkabeln oder im Dreieck verlegten Einleiterkabeln der Fall ist, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab. Das Verschweißen der Rohrschüsse, das Aufbringen des Korrosionsschutzes an den Stoßstellen und die Probe auf Dichtigkeit beanspruchen praktisch ein ebenso langes Offenhalten des Kabelgrabens wie bei den nicht starren Kabelbauarten, die, besonders bei Einleiterkabeln, in großen Längen eingezogen werden können. Immerhin bieten Rohrkabel die Möglichkeit, bei der Legung eines Kabelstranges ein Leerrohr mit zu verlegen. Wenn dann nach Jahren eine Erweiterung der Stromversorgung notwendig wird, ist es nicht erforderlich, einen neuen Kabelgraben auszuheben.

### Elektrische Gesichtspunkte für die Wahl der Kabelbauart

Bei manchen Energie-Versorgungs-Unternehmen gibt oft die mechanische Ausführung eines Höchstspannungskabels den Ausschlag für die Wahl der einen oder anderen Konstruktion, weil man von der elektrischen Betriebssicherheit aller neuzeitlichen Kabel von vornherein überzeugt ist. Früher stand bei der Wahl der Kabelart die Frage nach den elektrischen Eigenschaften, d. h. nach der elektrischen Betriebssicherheit, an erster Stelle. Auch heute noch sollte die elektrische Wertigkeit der einzelnen Konstruktionen mehr, als es bisweilen der Fall ist, beachtet werden.



Bei der Beurteilung eines Kabels ist nicht allein die bei der Abnahmeprüfung nachgewiesene elektrische Güte maßgebend, denn sie wird an einem fabrikneuen Kabel festgestellt und kann sich, je nach den örtlichen Verhältnissen, im Laufe eines jahrelangen Betriebes ändern. Für gewisse Alterungserscheinungen sind einzelne Konstruktionen anfälliger als andere. So können sich im Dauerbetrieb z. B. die zusätzliche Erwärmung durch Kabelhäufung, Kreuzung von Fernheizungsanlagen, Beanspruchung durch Kurzschlüsse, geneigtes Gelände oder außergewöhnliche Abkühlungsbedingungen besonders bei Höchstspannungskabeln mit zähflüssigen Imprägnierungsmitteln ungünstig auswirken.

Die elektrische Güte von Höchstspannungskabeln wird beurteilt nach der Höhe, dem Verlauf und der Stabilität des dielektrischen Verlustfaktors, nach der Wechselspannungsdauerfestigkeit, dem Verhalten bei Stoßspannungsbeanspruchung und nach der Belastbarkeit.

### Dielektrischer Verlustfaktor

Der dielektrische Verlustfaktor  $\tan \delta$  liegt bei den meisten Kabelbauarten weit unter 0,005; dieser Wert ist in den IEC-Empfehlungen als oberste Grenze zugelassen. Bei ölgefüllten Kabeln z. B. werden besonders günstige Werte in der Größenordnung von  $20 \cdot 10^{-4}$  erreicht, je nachdem, welche Papiersorte verwendet, wie fest die Papierbänder aufgesponnen und wie weit der Trocknungsprozeß getrieben wurde. Mitbestimmend ist die Art des Tränkmittels, wobei auch mit synthetischen Ölen trotz deren höherer Viskosität beachtenswert niedrige Werte erzielt werden können. Wenngleich die im Lauf der Entwicklung erreichten besonders niedrigen Verlustfaktoren ein anerkennenswerter Fortschritt sind, ein wesentliches Gewicht für die Wärme- und Verlustbilanz erhalten sie erst bei Kabeln von 220 kV Nennspannung an. Während z. B. bei dem Querschnitt von 500 mm<sup>2</sup> die dielektrischen Verluste von 110-kV-Kabeln nur 4% der Leiterverluste ausmachen, steigt der Anteil der dielektrischen Verluste bei 220 kV auf 13% und bei 380-kV-Kabeln auf über 40% der Leiterverluste an. Die dielektrischen Verluste führen bei diesem Kabel zu einer beachtlichen zusätzlichen Erwärmung, wodurch die Belastbarkeit herabgesetzt wird. Daher sind die intensiven Bestrebungen der Kabeltechniker verständlich, die dielektrischen Verluste durch Auswahl, Aufbereitung und Vorbehandlung der Isolierstoffe weiter zu senken.

Auch für den Anstieg des dielektrischen Verlustfaktors  $\tan \delta$  mit der Spannung werden in den IEC-Empfehlungen einschränkende Richtlinien gegeben. Im allgemeinen braucht man die dafür zugebilligten Anstiegstoleranzen im Spannungsbereich bis zur Betriebsspannung  $E_0$  nicht in Anspruch zu nehmen; erst bei höheren Meßspannungen – der Verlustfaktor ist bis zur doppelten Betriebsspannung, d. h.  $2 E_0$ , zu messen – steigen bei manchen Kabelbauarten die Verluste innerhalb der vorgegebenen Grenzen mehr oder weniger stark an.

### Thermische Stabilität

Die wichtigste Eigenschaft bei Kabeln – von 60 kV Nennspannung an als selbstverständlich vorausgesetzt – ist die thermische Stabilität des dielektrischen Verlustfaktors: Nach beliebig oft wiederholter zyklischer Be- und Entlastung des Kabels mit Nennstrom darf sich der dielektrische Verlustfaktor weder hinsichtlich seiner Höhe noch seines Anstiegs gegenüber dem Ausgangszustand des Kabels merklich ändern.

Es gibt zwar mehrere Verfahren, die thermische Stabilität zu erreichen, die aber, abgesehen vom unterschiedlichen technischen Aufwand, hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bei steigender Kabelnennspannung, d. h. größerer Isolierdicke, nicht mehr einander gleichwertig sind.

Aufgrund der Erkenntnis, daß es die Temperaturänderungen sind, die im Kabel infolge Belastungsschwankungen schädliche, d. h. irreversible Veränderungen im Dielektrikum zur Folge haben, wurde einmalig ein »thermisch stabilisiertes« Kabel gebaut. Bei ihm wird der Leiter, unabhängig vom Belastungszustand des Kabels, über einen Spezialtransformator stets auf der Vollast-Temperatur gehalten. Dieser physikalisch an sich richtige Gedanke ist leider wirtschaftlich nicht tragbar und wurde daher wieder aufgegeben.

Als besonders fruchtbar erwies sich die Erfindung der ölgefüllten Kabel, die bis heute hinsichtlich ihrer elektrischen Robustheit und ihres breiten Spannungsbereichs unübertroffen sind [5]. Bei Erwärmung des Kabels kann sich das leicht flüssige Tränkmittel durch Kanäle, die bei Einleiterkabeln innerhalb des Leiters und bei verselten Kabeln in den Zwickelräumen angeordnet sind, beliebig nach den Kabelenden hin ausdehnen, ohne daß es zu einer Aufweitung des Mantels und Hohlraumbildung im Dielektrikum kommt. Dieses Prinzip hat sich bis zu höchsten Nennspannungen bewährt (Bild 1).

Das Hochdruck-Ölkabel entspricht hinsichtlich seiner Wirkungsweise dem eben erwähnten Ölkabel; jedoch besteht insofern ein Unterschied, als das Stahlrohr, in das die mit zähflüssigem Öl getränkten Kabeladern einge-zogen sind, einen hohen Öldruck ermöglicht, der die restlose Durchtränkung der Isolierung unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet [6].

Beim sogenannten Druckkabel [7] wird die bei Erwärmung expandierte Tränkmasse über eine als Membran wirkende, gasundurchlässige Hülle bei Abkühlung durch hohen Gasdruck in die Isolierung zurückgedrückt. Es hat sich gezeigt, daß dieses Prinzip bei dicken Isolierungen, wie sie von 220 kV an erforderlich sind, nicht mehr anwendbar ist.

Die hohe dielektrische Festigkeit von komprimierten Gasen wird beim Gasinnendruckkabel ausgenutzt, um die Ionisierung von Hohlräumen, die in einer mehr oder weniger satt getränkten Papierisolierung vorhanden sind, zu unterdrücken [8].



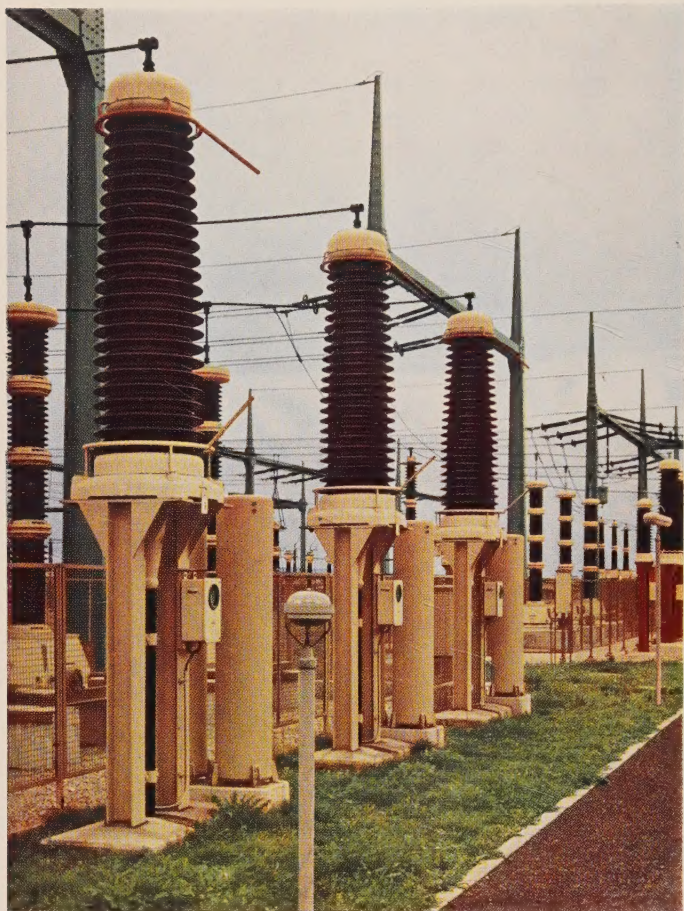


Bild 1 220-kV-Freiluftendverschlüsse mit Ausgleichgefäßen und Öldruckmessern in einer Anlage der Bayernwerk AG

Alle diese Kabelbauarten sind innerhalb bestimmter, konstruktionsbedingter Grenzen thermisch stabil. Der Umfang ihrer praktischen Anwendung ist, in Kabelkilometern gemessen, verschieden groß. In vielen Netzen des In- und Auslandes herrscht das klassische Ölkabel vor, von manchen Verbrauchern wird das Druckkabel bevorzugt, in England wurde das Gasinnendruckkabel bis 275 kV entwickelt, und die nordamerikanischen Verbraucher sind überwiegend Anhänger des Hochdruck-Ölkabels.

#### Wechselspannungsfestigkeit

Die im Dauerbetrieb vorhandene Wechselspannungsfestigkeit, bezogen auf den maximalen Feldgradienten an der Leiteroberfläche, galt lange Zeit als das Hauptkriterium bei der Beurteilung der einzelnen Kabelbauarten. Das führte dazu, daß sich die Kabelhersteller in der Bekanntgabe von erreichten optimalen Durchschlagwerten gegenseitig überboten, wobei meistens die kleinsten Krümmungsradien zur Berechnung des maximalen Feldgradienten herangezogen wurden. Dabei bleibt dahingestellt, ob diese Art der Betrachtungsweise physikalisch sinnvoll ist. An ölfüllten Kabeln z. B., deren Wechsel-

spannungsfestigkeit bekanntlich besonders hoch ist, werden Dauerfestigkeitswerte über 40 kV/mm im kalten und warmen Zustand des Kabels erzielt. Anfänglich bestanden deshalb Abnahmeprüfungen für Ölkabel oft auch im Nachweis dieser Dauerfestigkeitswerte mit anschließender Spannungssteigerung bis zum Kabeldurchschlag. Es hat lange gedauert, bis mancher an die elektrische Zerreißprobe gewöhnte Verbraucher von diesen überhöhten Prüfbedingungen wieder abgebracht und von der Notwendigkeit einer vernünftigen Koordination der Prüfbedingungen mit der tatsächlichen Betriebsbeanspruchung überzeugt werden konnte.

Grundsätzlich sollte man bei der Prüfung von einem Kabel nicht mehr verlangen, als im Hinblick auf die Betriebsbeanspruchung unter Berücksichtigung eines genügend hohen Sicherheitsfaktors sinnvoll erscheint.

Aufgrund eingehender Untersuchungen der Netzverhältnisse weiß man heute, welchen maximalen Betriebsbeanspruchungen ein Kabel ausgesetzt ist. Im normalen, d. h. ungestörten Betrieb sind die Kabel, die ohne Ausnahme einzeln abgeschirmte Adern haben, nur einer Wechselspannung von  $E/\sqrt{3} = E_0$  ausgesetzt, die kraftwerkseitig um 10% höher liegen kann. Bei Erdschluß kann diese Spannung im ungünstigsten Fall, wenn das Netz gelöscht betrieben wird, auf maximal  $\sqrt{3} E_0 = E$  steigen; die Dauer eines Erdschlusses ist zwar in den einzelnen Netzen verschieden, dürfte aber 10 bis

15 Stunden im allgemeinen nicht überschreiten. In Netzen mit unmittelbarer Sternpunktterdung, die sich mehr und mehr einbürgert, steigt die Spannung bei Erdschluß höchstens auf  $0,8 E$ , jedoch nur innerhalb der Kurzschlußdauer von etwa  $2/10$  s. Damit ist hinreichend bewiesen, daß die als Typenprüfung für Höchstspannungskabel seitens der IEC empfohlene und neuerdings allgemein angewandte Prüfung mit  $2,5 E_0$  während 24 Stunden einen Sicherheitsgrad der Kabel verbürgt, den wohl kein anderer auf Durchschlag beanspruchter Teil einer elektrischen Anlage aufweist.

Die tatsächliche Dauerfestigkeit bei Öl-, Öldruck- und Druckkabeln liegt wesentlich höher als die bei der Typenprüfung nachzuweisende. Es läge also nahe, den für Drehstrombetrieb unnötig hoch erscheinenden Sicherheitsgrad der Kabel durch eine entsprechende Verminderung der Isolierung zu senken und dadurch eine Verbilligung der Kabel zu erreichen. In reinen Kabelnetzen, die nirgends mit Freileitungen unmittelbar verbunden sind, wäre dies durchaus möglich. Bei den meisten Anlagen liegen jedoch die Kabel im Zuge von Freileitungen, oder der spätere Anschluß des Kabelnetzes



an ein Freileitungsverbundnetz ist geplant. Dann sind die Kabel zusätzlichen atmosphärischen Überspannungen ausgesetzt (Bild 2).

### Stoßspannungsfestigkeit

Heute kennt man die Höhe und den Verlauf der Überspannungen und hat gelernt, die Anlagen davor zu schützen; man hat auch in umfangreichen Untersuchungen die Widerstandsfähigkeit der Kabelisolierung gegenüber Spannungsstößen festgestellt [9, 10]. Die Festigkeit gegenüber Stoßbeanspruchung liegt in der Größenordnung von 100 bis 120 kV/mm (maximaler Gradient an der Leiteroberfläche); sie hängt von der Viskosität des Tränkmittels und von der Dichte der Papierbespinnung ab.

Bei diesen Festigkeitswerten ist es mit wirtschaftlich tragbaren Isolierungen möglich, den durch die IEC empfohlenen Stoßpegel sicher einzuhalten, der nach der Formel  $6 E_0 + 40$  kV berechnet wird. Dieser Wert soll für längere Kabelstrecken gelten, bei denen die Kapazität des Kabels eine Absenkung und Abflachung der Wanderwelle bewirkt. Bei kurzen Kabelstrecken kann sich dieser günstige Effekt nicht auswirken; die Stoßprüfung ist dann entsprechend der IEC-Publikation 71/58 vorzunehmen, die etwas höhere Werte vorsieht.

Die deutschen Vorschriften VDE 0111 enthalten z. Z. noch keine Werte für den oberen Stoßpegel von Kabeln über 60 kV Nennspannung, d. h. für thermisch stabile Kabel mit gegenüber Massekabeln stark verminderter Isolierung. Bei der Festlegung eines Stoßpegels für Höchstspannungskabel sollte bedacht werden, daß ein Anheben des Stoßpegels über den von der IEC für Kabel empfohlenen Wert zu einer Verstärkung der Isolierung und damit zu einer Verteuerung der Kabel führen kann. Kurze Kabelverbindungen sollten grund-

sätzlich gegen extrem hohe und steile Überspannungen durch einen ausreichend bemessenen Erdseilschutz über den Freileitungen, durch niedrige Erdübergangswiderstände der Maste und auch durch Einbau von Überspannungsableitern geschützt werden. Dies gilt besonders für die unmittelbare Einführung der Kabel in Transformatoren, von der mehr und mehr Gebrauch gemacht wird (Bild 3).

Innere Überspannungen, d. h. Erdschluß- und Schaltüberspannungen, können erfahrungsgemäß maximal den 2,5- bis 3fachen Scheitelwert der Sternspannung erreichen; sie werden ebenfalls von der Kabelisolierung mit Sicherheit beherrscht.

### Belastbarkeit

Auch hinsichtlich der thermischen Belastbarkeit bestehen gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Kabelbauarten. Kabel werden in erster Linie durch den Leiterstrom erwärmt, zu einem kleineren Teil durch die Mantel- und Bewehrungsverluste und bei höchsten Spannungen bereits merklich durch die dielektrischen Verluste. Man ist natürlich bestrebt, durch verschiedene Maßnahmen diese Verlustkomponenten möglichst niedrig zu halten [11]. Ausschlaggebend für die Belastbarkeit eines Kabels ist jedoch die Abfuhr der im Leiter erzeugten Stromwärme von innen nach außen. In dieser Hinsicht sind die Verhältnisse bei Ölkabeln am günstigsten. Bei gasgefüllten Rohrkabeln kann die für eine wirksame Abkühlung an sich günstige große Oberfläche des Rohres den Wärmewiderstand des dicken Gaspolsters nicht ganz kompensieren. Bei Hochdruckkabeln hingegen führt die Ölfüllung des Rohres die Wärme gut ab. Eine künstliche Kühlung der Kabel, entweder durch einen inneren Ölstrom oder eine Wasserkühlung von außen, ist nur bei kurzen Kabellängen möglich, abgesehen davon, daß der notwendige Aufwand beträchtlich ist und die Anlage kompliziert gestaltet. Grundsätzlich sollten für Kabel möglichst günstige Abkühlungsbedingungen geschaffen werden; das gegenseitige Erwärmen parallel geführter Kabel ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

In letzter Zeit geht man mehr und mehr dazu über, die Höchstspannungsnetze nicht mehr gelöscht, wie früher allgemein üblich, sondern mit geerdetem Sternpunkt zu betreiben. Dadurch wird jeder Erdschluß zu einem Erdkurzschluß. Aus verschiedenen betrieblichen Gründen ist man bestrebt, die dabei auftretenden Ströme möglichst niedrig und in der Größenordnung bis höchstens 5 kA

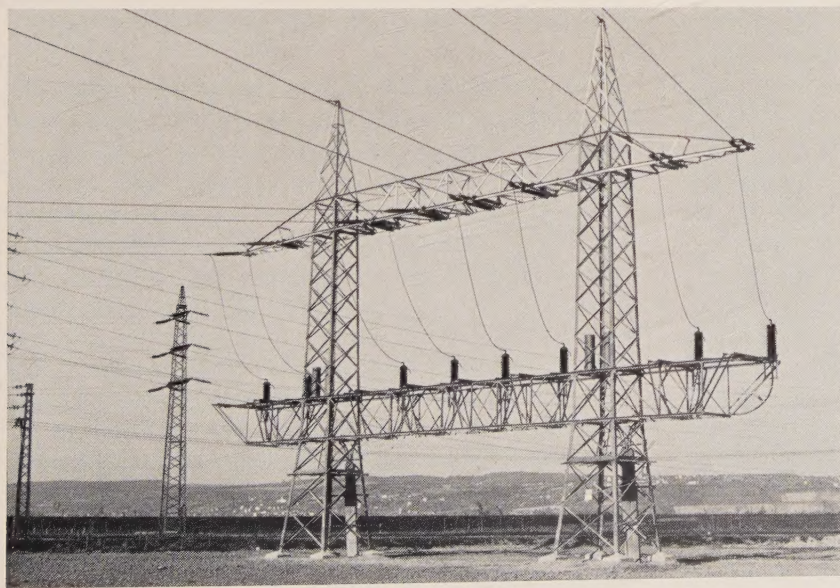


Bild 2 Übergang Freileitung-Kabel in einer 110-kV-Anlage der Deutschen Bundesbahn



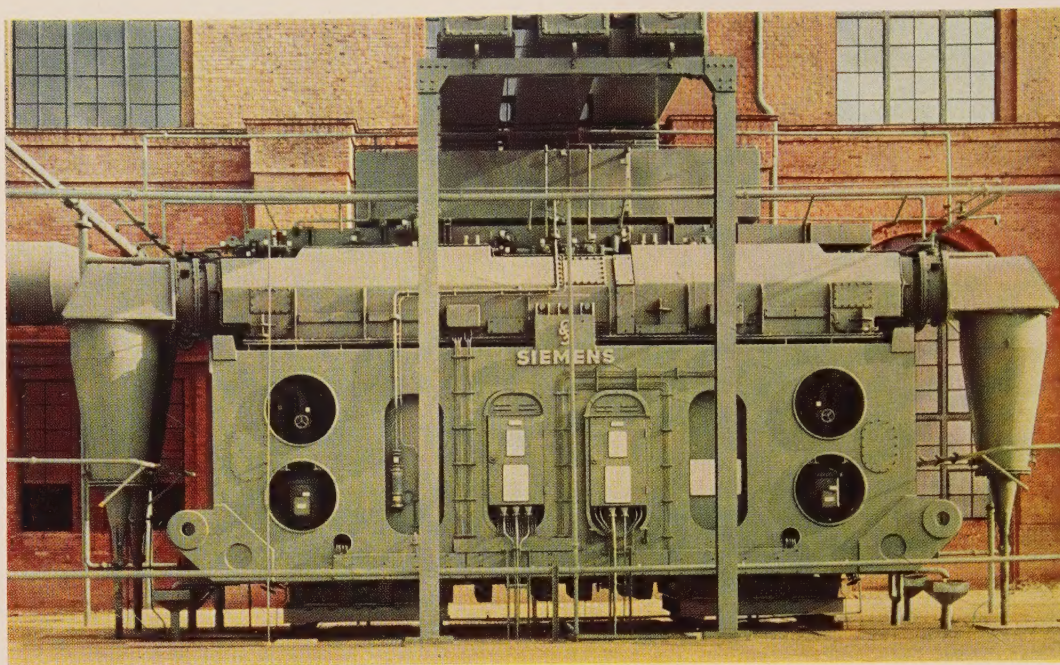


Bild 3 Einführung von 220-kV-Einleiter-Ölkabeln in einen Transformator

zu halten [12]. Diese Ströme, die ihren Rückweg vor allem in den metallenen Kabelhüllen suchen, sind hinsichtlich ihrer thermischen Wirkung unbedenklich. Sie können aber, wenn die Rückströme in der Erde einen zu hohen Widerstand vorfinden, zu Schritt- und Berührungsspannungen beachtlicher Größe führen und auch benachbarte Nachrichtenkabel störend beeinflussen. In geerdeten Netzen verhalten sich deshalb jene Kabel günstiger, deren Mäntel eine hohe Längsleitfähigkeit aufweisen und damit einen hohen Strom führen können, der den Erdkurzschlußstrom im Kabelleiter hinsichtlich seiner Wirkung nach außen mehr oder weniger zu kompensieren vermag [13]. Kabel mit Aluminiummantel und Rohrkabel haben den vergleichsweise geringsten Beeinflussungs-(Reduktions-) Faktor in der Größenordnung 0,05 bis 0,1; Bleimantelkabel können dagegen Werte bis etwa 0,4 aufweisen, falls nicht besondere Maßnahmen vorgesehen werden, z. B. eine besonders leitfähige Bewehrung der Kabel oder Parallelführung von Kupferseilen.

#### Kabelbauarten

##### Niederdruck-Ölkabel

Die Siemens-Schuckertwerke haben von jeher der Weiterentwicklung der Höchstspannungskabeltechnik besondere Bedeutung beigemessen und auf diesem Gebiet beachtenswerte Beiträge geleistet. Schon frühzeitig, als anderenorts noch versucht wurde, mit besonders stark isolierten Massekabeln 110 kV zu übertragen, wurde hier mit der Entwicklung von ölgefüllten Kabeln begonnen. Die im Jahre 1927 gebaute, 10 km lange 110-kV-Ölkabelanlage bei der Großkraftwerk Franken AG in Nürnberg wird für immer einen Wendepunkt in der deutschen Höchstspannungskabeltechnik darstellen [14].

Die seinerzeit erstmals angewandten Fertigungsverfahren haben sich bis in die Gegenwart als besonders günstig und wirtschaftlich erwiesen und wurden neuerdings von anderen Werken übernommen. In den vergangenen Jahrzehnten wurden die chemischen und elektrischen Eigenschaften der Öle und Papiere weiter verbessert, um möglichst niedrige Verlustfaktoren zu erreichen, das Biegeverfahren wurde verfeinert, um die Biegefähigkeit der Kabel auch bei dicken Isolierungen zu gewährleisten, und der Korrosionsschutz des Metallmantels wurde so durchgebildet, daß die von der Isolierung her unbegrenzt erscheinende Lebensdauer des Ölkabels nicht durch Einwirkung von außen geschmälert wird.

An der grundsätzlichen Wirkungsweise des Ölkabels hat sich jedoch nichts geändert. Das sich bei Erwärmung ausdehnende Öl strömt bei Einleiterkabeln längs des hohl ausgeführten Leiters (s. Bild 6a), bei Mehrleiter-Ölkabeln in den Kanälen zwischen den versilten Adern (s. Bild 6b) zu Ausgleichgefäßen, die bei kurzen Kabelstrecken nur an den Kabelenden, bei längeren Kabelstrecken aber auch an geeigneten Stellen längs der Trasse angeordnet sind. Beim Abkühlen drücken die luftgefüllten Schwellkörper der Ausgleichgefäße das Öl selbsttätig in das Kabel zurück. Da der Strömungswiderstand in Längsrichtung auch von der Viskosität des Öles abhängt, ist man bestrebt, diese möglichst niedrig zu halten. Während früher bei Einleiterkabeln schon nach je 2 km Trassenlänge eine Einspeisung vorgesehen werden mußte, ist dies heute bei normalem Trassenverlauf nur in 3 km Abstand erforderlich. Können aber, z. B. bei Seeüberquerungen, keine Ausgleichgefäße längs der Strecke angeordnet werden, so kann, neben anderen Möglichkeiten,



durch reichlichere Bemessung des Leiterquerschnitts die Ausdehnung des Öles in beherrschbaren Grenzen gehalten werden. Dasselbe gilt auch für Dreileiter-Ölkabel mit gemeinsamem Mantel.

Normalerweise ist es möglich, die für die Atmung einer Kabelstrecke notwendigen Ausgleichgefäße längs der Strecke gut unterzubringen. Die in den Anfangsjahren der Ölkabeltechnik üblichen gemauerten Schächte für Sperrmuffen und Gefäße gelten als überholt; die Gefäße werden, wie es bei den Muffen üblich ist, gegen Korrosion gut geschützt unmittelbar in Erde gebettet [15] (Bild 4). Um ihre gegenseitige Verlagerung durch verschieden starkes Nachsacken des Erdreichs zu vermeiden, können sie auch in einem Betontrog liegend angeordnet werden, wodurch zugleich alle (übrigens unbegründeten) Befürchtungen hinsichtlich Verunreinigung des Trinkwassers zerstreut werden würden. Die zum Überwachen des Öldrucks und zum Feststellen etwaiger Fehler zweckmäßigen Manometer und Hähne werden entweder in einem Kasten in Pflasterhöhe oder oberirdisch in einem Blechschrank am Straßenrand untergebracht.

Ölkabel überwachen sich selbst; auch geringfügige Ölverluste machen sich durch Sinken des Öldrucks deutlich bemerkbar, so daß man den Fehler rechtzeitig beheben kann. Ursache eines Leckfehlers kann z. B. eine nicht fest genug angezogene Verschraubung sein; größere Ölverluste könnten z. B. in dem sehr unwahrscheinlichen Fall auftreten, daß der Mantel eines Dreileiter-Ölkabels trotz massiver Abdeckplatten bei Grabarbeiten grob beschädigt werden würde. Einleiter-Ölkabel würden in diesem Fall wegen der als Drossel wirkenden Isolierung nur tropfenweise Öl verlieren. Hinsichtlich der Auswirkung und Beseitigung von Fehlern verdienen deshalb Einleiterkabel den Vorzug gegenüber Dreileiter-Ölkabeln, die mit Rücksicht auf die Fertigung und Legung nur bis 132 kV ausführbar sind.

Ölkabelanlagen verhalten sich physikalisch wie kommunizierende Gefäße. Eine schädliche Verlagerung des Tränkmittels, gegen die Kabel mit zähflüssiger Imprägnierung der Isolierung nicht gefeit sind, ist ausgeschlossen. Daher behält eine Ölkabelanlage an jeder Stelle der Trasse unabhängig von der Neigung des Geländes und unter allen Betriebsbedingungen die volle elektrische Festigkeit, die sie von Anfang an hatte.

Eine Eigenart der Ölkabel ist die Abhängigkeit des im Kabel herrschenden Druckes von der Höhenlage; für je 11 m Höhenunterschied der Trasse steigt der Öldruck im Kabel um 1 atü. Die früher geübte Zurückhaltung, Ölkabelanlagen für größere Höhenunterschiede zu verwenden, ist gegenstandslos geworden, seit es gelungen ist, den Kabelmantel durch entsprechendes Bandagieren gegen hohe innere Überdrücke zu sichern. So wurde z. B. bei einer Kavernenanlage in der Nähe von Rom mit 220-kV-Einleiter-Ölkabeln ein Höhenunterschied von

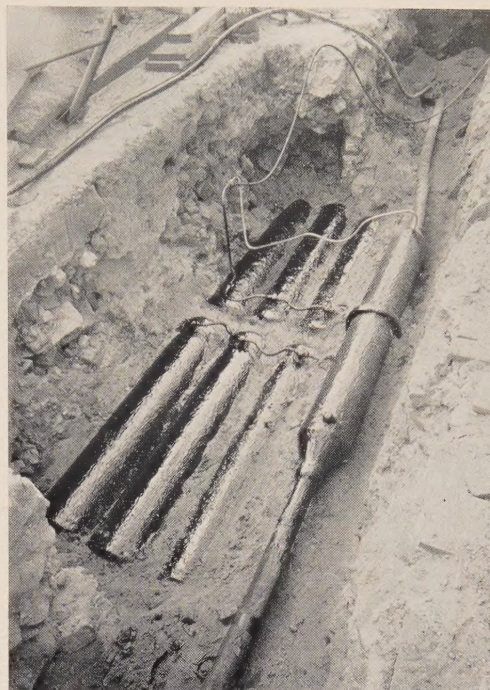


Bild 4 Sperrmuffe eines 110-kV-Einleiter-Ölkabels mit beiderseits angeschlossenen Ausgleichgefäßen

230 m bewältigt [16]. Noch größere Höhenunterschiede zu beherrschen, ist heute nur eine Frage des Materialaufwandes für Bewehrung und Garnituren. Gegebenenfalls kann der Innendruck durch den Einbau von soge-



Bild 5 300-kV-Einleiter-Ölkabel, unbewehrt, mit einem PROTODUR\*-Mantel als zusätzlichem Korrosionsschutz

\* Eingetragenes Warenzeichen

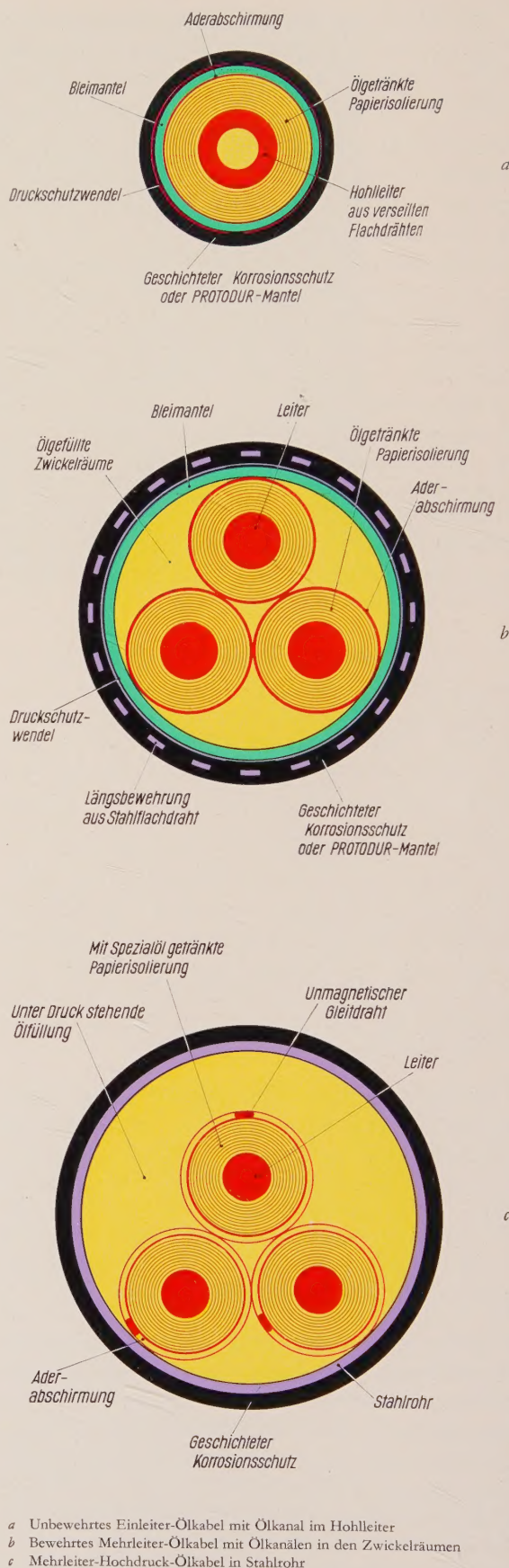


nannten Sperrmuffen begrenzt werden. Sie dienen zur Unterteilung der Kabelstrecke in mehrere voneinander unabhängige Abschnitte der Ölversorgung. In den Anfangsjahren wurden Sperrmuffen eingebaut, um den Bleimantel von Innendrücken zu entlasten, die ihn über die Fließgrenze des Bleies hinaus beansprucht haben würden. Heute werden sie hauptsächlich eingesetzt, um eine einwandfreie Speisung der Strecke zu ermöglichen und das Einmessen eines etwaigen Leckfahlers zu erleichtern. An der konstruktiven Gestaltung der Sperrmuffen hat sich im wesentlichen nichts geändert; jedoch ermöglicht neuerdings der Ersatz der Porzellan- und Hartpapierisolatoren durch Isolatoren aus Gießharzen eine höhere mechanische Beanspruchung bei sehr verminderten Abmessungen. Ohne Zweifel wird die Gießharztechnik, die im Nieder- und Mittelspannungsbereich bereits weitgehend angewandt wird, auch auf dem Gebiet der Höchstspannungskabelgarnituren mehr und mehr Eingang finden [17].

Nur Ölkabel haben aufgrund ihrer idealen Wirkungsweise eine Dauerfestigkeit gegenüber Wechsellastspannung, die die Beherrschung der höchsten, bei Freileitungen gebräuchlichen Nennspannungen ermöglicht. Wegen ihrer hohen Belastbarkeit bei vollkommener thermischer Stabilität werden Ölkabel immer häufiger auch im Bereich niedrigerer Nennspannungen (von 20 kV an) verwendet. Wie Versuch und Praxis beweisen, ist es durchaus nicht erforderlich, daß der Innendruck wesentlich höher als Atmosphärendruck ist, um die hervorragenden Eigenschaften der Kabel zu gewährleisten. Die bekanntesten Anlagen, wie die 330-kV-Kabel für Snowy Mountains, Kariba, Kitimat [18, 19] und das erste deutsche 300-kV-Einleiter-Ölkabel für ein norwegisches Kavernenkraftwerk [20] (Bild 5) sind mit Niederdruck-Ölkabeln ausgerüstet. Die Stoßfestigkeit dieser ND-Kabel entspricht allen Betriebserfordernissen; sie kann durch Bespinnen des Kabels mit besonders dünnen Papieren weiter gesteigert werden, was erforderlich sein würde, wenn Kabel für Nennspannungen über 400 kV gebaut werden sollen.

### Hochdruck-Ölkabel

Niederdruck-Ölkabel bedürfen zwar keines erhöhten Druckes, um ihre außerordentliche Güte zu gewährleisten. Die Kabelanlagen müssen jedoch so mit Ausgleichgefäßen längs der Trasse ausgerüstet werden, daß unter allen Betriebsbedingungen, besonders bei plötzlicher Abschaltung von Vollast im Winter, eine einwandfreie Ölfüllung der Papierisolierung gesichert ist. Wollte man beim klassischen Niederdruck-Ölkabel den Abstand der Speisestationen entgegen der üblichen Praxis wesentlich vergrößern oder längs großer Strecken ganz auf sie verzichten, so müßten (was durchaus möglich wäre) die für den Ölfluß benötigten Längskanäle stark vergrößert werden, und der Öldruck an den Kabelenden wäre wesentlich zu erhöhen. Diese Überlegung hat mit



a Unbewehrtes Einleiter-Ölkabel mit Ölkanal im Hohlleiter  
b Bewehrtes Mehrleiter-Ölkabel mit Ölkanälen in den Wickelräumen  
c Mehrleiter-Hochdruck-Ölkabel in Stahlrohr

Bild 6 Bauarten von ölgefüllten Kabeln



zur Konstruktion des Hochdruck-Ölkabels geführt, das sich auch in europäischen Höchstspannungskabelnetzen durchzusetzen beginnt.

Das Hochdruck-Ölkabel entstand in den USA und ist unter der Bezeichnung »Oilstatic«-Kabel bekannt geworden. Nach einer im Jahre 1960 von KOMIVES veröffentlichten Zusammenstellung gehören 80% aller in den USA installierten Rohrkabelanlagen dem »Oilstatic«-Typ an; die restlichen 20% sind Gasdruckkabel und Druckkabel [21].

Der Aufbau des Hochdruck-Ölkabels (Bild 6c) ist einfach: Die abgeschirmten und mit Gleitdrähten versehenen drei unverseilten Adern sind in ein gegen Korrosion gut geschütztes Stahlrohr eingezogen; ihre Papierisolierung ist mit einem zähflüssigen Öl satt getränkt. Das Rohr ist mit dünnflüssigem Öl gefüllt, das unter einem Druck von etwa 15 atü steht, der von einer selbsttätig wirkenden Pumpstation vom Kabelende her aufrechterhalten wird. Die Praxis hat bewiesen, daß Speisestationen mit dem unter Vakuum stehenden Ölvorrat erst in Abständen von etwa 10 km erforderlich sind.

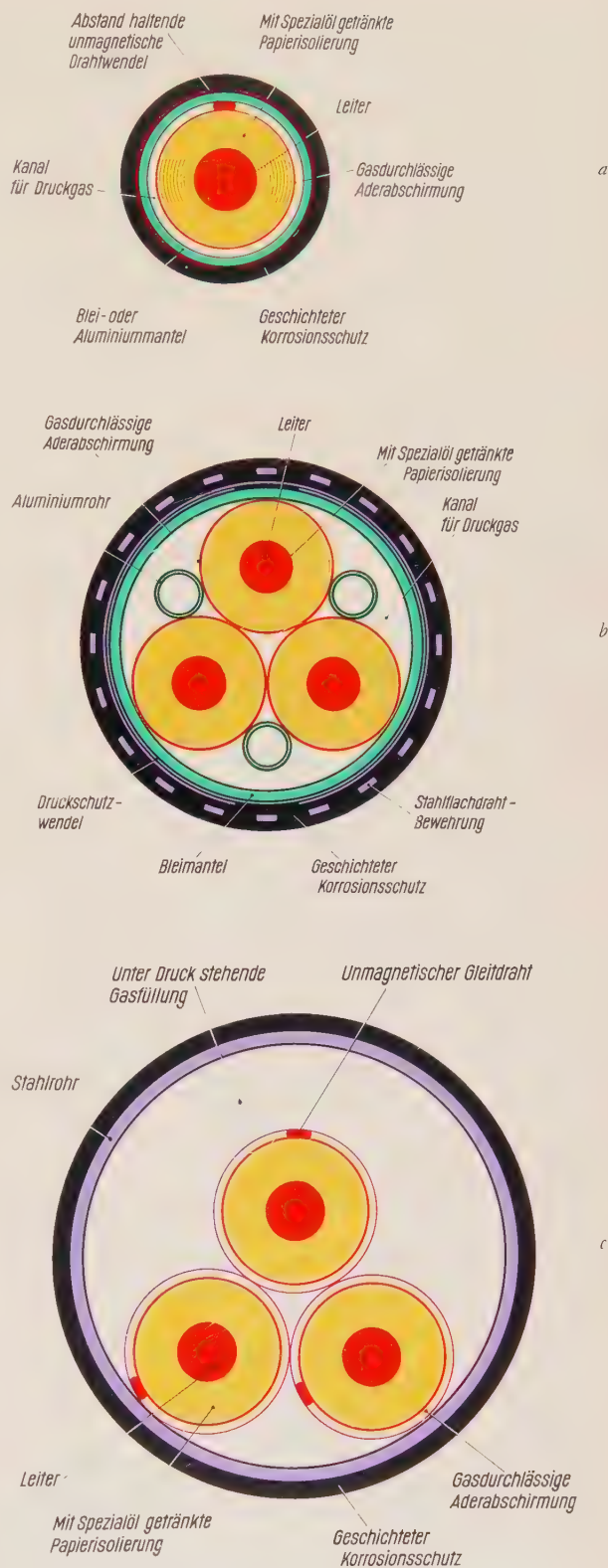
Die Wirkungsweise gleicht der des klassischen Niederdruck-Ölkabels insofern, als das sich ausdehnende Öl innerhalb des Rohres in die Vorratsbehälter am Ende der Kabelstrecke abfließt; kühlt sich das Kabel bei Entlastung ab, so wird selbsttätig so viel Öl in das Rohr zurückgepumpt, daß ein mittlerer Betriebsdruck von 15 atü immer aufrechterhalten bleibt.

Bei dieser Arbeitsweise können in der Papierisolierung wegen des Öldrucks von 15 atü, der unmittelbar in die Isolierung hinein wirkt, keinerlei Hohlräume entstehen. Das Kabel ist demnach thermisch völlig stabil, und die beim Niederdruck-Ölkabel besonders hohe Dauerfestigkeit gegenüber Wechsellastspannung wird auch hier erreicht; seine Stoßspannungsfestigkeit übertrifft bei gleicher Isolierdicke die des Niederdruck-Ölkabels. Wegen der gegenüber Gasinnendruckkabeln reduzierten Isolierdicke ermäßigt sich dementsprechend der notwendige Rohrdurchmesser. Das Hochdruck-Ölkabel verbindet demnach in idealer Weise die allgemein anerkannte elektrische Güte des Ölkabels mit den mechanischen Vorzügen eines Rohrkabels\*. Es ist zu erwarten, daß diese in Europa bisher nur selten anzutreffende Kabelbauart noch viele Anhänger finden wird [23].

### Gasinnendruckkabel

Der Gedanke, die Festigkeit massegetränkter Kabel durch Anwendung eines hohen Gasdrucks zu steigern, ist nicht neu. Schon vor 40 Jahren haben die Amerikaner H. FISHER und R. ATKINSON vorgeschlagen, in die Isolierung von Kabeln Gas einzubringen und dessen Druck so weit zu steigern, daß in den Kapillaren und Vakuolen

\* Von den vier an der Cornell-Universität in Ithaca/NY zur Approbation gestellten 345-kV-Kabeln für 500 MVA, die alle dem Ölkabeltyp angehören, sind zwei Versuchslängen Hochdruck-Ölkabel in Rohrausrüstung [22].



a Einleiter-Gasinnendruckkabel mit konzentrischem Gaskanal zwischen Isolierung und Mantel  
b Mehrleiter-Gasinnendruckkabel mit Gaskanälen in den Zwickelräumen  
c Mehrleiter-Gasinnendruckkabel in Stahlrohr

Bild 7 Bauarten von Gasinnendruckkabeln



zwischen den Papierbändern keine Ionisierung mehr möglich ist. Es hat jedoch mehr als zehn Jahre gedauert, bis das mit Gasinnendruck betriebene Kabel durch entsprechende Konstruktionen praktisch verwirklicht werden konnte. Das grundlegende Patent aus dem Jahr 1920 mit seinen alle Möglichkeiten erfassenden Ansprüchen ist inzwischen abgelaufen, bevor es für Höchstspannungskabel Bedeutung erlangte [24].

Schon Ende der dreißiger Jahre wurden im Kabelwerk der Siemens-Schuckertwerke umfangreiche Entwicklungsversuche an Ein- und Dreileiterkabeln aufgenommen, um Klarheit darüber zu erlangen, ob das Gasinnendruckkabel als echte Variante zum Ölkabel in Betracht kam. Aber gerade diese Bezugnahme auf das Ölkabel war ein entscheidendes Hemmnis, die an sich brauchbaren Ergebnisse schon damals durch den Bau von Gasinnendruckkabelanlagen praktisch auszuwerten. Zwar übertraf die Stoßfestigkeit der unter hohem Stickstoffdruck stehenden massegetränkten Papierisolierung die bei Ölkabeln erzielbaren Werte, die Dauerfestigkeit gegenüber der Beanspruchung durch Wechselspannung genügte aber s. Z. bei weitem nicht den durch das Ölkabel in dieser Hinsicht verwöhnten Ansprüchen. Auch die Massewanderung und die dadurch möglicherweise bedingte Verstopfung der Gaskanäle bereitete berechnete Sorgen.

Die betriebsnähere Festlegung der Prüfbedingungen und die Entwicklungserfolge der letzten Jahre erleichtern heute die Einführung des Gasinnendruckkabels. So ist es gelungen, Tränkmassen z. T. auf synthetischer Basis zu entwickeln, die nicht mehr abwandern bzw. sich verlagern, womit die Gefahr der Verstopfung der Gaskanäle gebannt ist; um die Wechselspannungsfestigkeit zu erhöhen, kann man auch dem früher als Druckgas ausschließlich verwendeten Stickstoff perfluorierte Gase, z. B. Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ), beimischen. Wesentlich ist aber, daß man sich heute mit der gegenüber Ölkabeln geringeren Wechselspannungsdauerfestigkeit der Gasinnendruckkabel-Isolierung bewußt abfindet; für die Erfordernisse des normalen Betriebs reicht diese Festigkeit aus, wenn der maximale Gradient am Leiter im ungestörten Betrieb etwa 10 kV/mm nicht überschreitet.

Ein weiterer Grund für die Entwicklung und Fertigung von Gasinnendruckkabeln ist die Tatsache, daß manche Übertragungsprobleme mit Kabeln anderer Bauart nicht oder nur schwer gelöst werden können. Gasinnendruckkabel benötigen nämlich längs der Trasse keine Ausgleichgefäße, und es genügt auch bei beliebig großen Kabellängen, die Kabel von den Enden her unter Gasdruck zu setzen bzw. zu halten. Dadurch ist die Überwindung großer Seestrecken, z. B. der 25 km breiten Georgia-Straße bei Vancouver, mit 138-kV-Gasinnendruckkabeln besonderer Bauart möglich geworden [25]. Wenn auch die Bewältigung großer Höhenunterschiede mit Ölkabeln, wie bewiesen wurde, keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bereitet, ist die Lösung dieser Aufgabe mit gasgefüllten Kabeln einfacher. Der Gas-

druck im Kabel ist unabhängig von dem zu überbrückenden Höhenunterschied, und die Montage der tiefliegenden Garnituren bereitet keine zusätzlichen Schwierigkeiten. Auch in besonders beengten Straßenzügen können Gasinnendruckkabel anstelle der bevorzugten Ölkabel treten, wenn es nicht möglich ist, Ausgleichgefäße längs der Trasse unterzubringen. Schließlich kommen Gasinnendruckkabel auch dem Verlangen nach ölfreien Schaltanlagen entgegen.

Neben allen diesen Vorteilen dürfen aber gewisse Nachteile des Gasinnendruckkabels nicht verschwiegen werden. Die gegenüber Ölkabeln verminderte Wechselspannungsfestigkeit, d. h. der geringere, wenn auch ausreichende Sicherheitsgrad im Dauerbetrieb, wurde bereits erwähnt. Voraussetzung für einen ungestörten Betrieb ist die Aufrechterhaltung eines Gasdrucks von 10 bis 15 atü je nach der Höhe der Nennspannung des Kabels. Gasinnendruckkabelanlagen erfordern eine besonders sorgfältige Legung und Montage, um Leckstellen an den Garnituren zu vermeiden. Die Lecksuche ist auch mit neuzeitlichen Meßgeräten und -verfahren umständlich und zeitraubend. Die große Anzahl der hauptsächlich in England gebauten Anlagen beweist jedoch, daß das Gasinnendruckkabel eine brauchbare Kabelkonstruktion ist.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei verschiedene Bauarten von Gasinnendruckkabeln: Kabel mit einem aufgepreßten Metallmantel und Rohrkabel (Bild 7.)

Kabel mit Blei- oder Aluminiummantel haben über dem normal verseilten, jedoch nicht verdichteten Leiter, dessen Oberfläche wie bei allen Höchstspannungskabeln durch leitendes Papier geglättet ist, die übliche geschichtete Papierisolierung; diese ist mit einer zähflüssigen, nicht zur Abwanderung neigenden Spezialmasse auf synthetischer Basis getränkt. Die Aderoberfläche ist durch sich dachziegelartig überlappende Bänder aus leitendem Papier und Kupfer gut geschirmt. Bei Dreileiterkabeln (Bild 7b) werden die drei Adern ohne Beilauf miteinander verseilt, wenn die Kabelstrecke verhältnismäßig kurz ist. Sind die Trassen lang und viele Kabellängen hintereinandergeschaltet, so legt man beim Verseilen der Adern Aluminiumröhrchen in die Zwickelräume, um den Gasdruck in die entfernter liegenden Teile der Kabelstrecke leiten und ihn überall und unter allen Bedingungen aufrechterhalten zu können. Um die so verseilten Adern wird dann ein Blei- oder Aluminiummantel gepreßt. Die verbleibenden Zwickelräume werden mit einem inerten Gas, meistens Stickstoff, unter hohem Druck gefüllt. Die Höhe des Druckes hängt von der Kabelnennspannung ab und beträgt bei 60 kV etwa 10 atü, bei 110 kV und darüber etwa 15 atü. Damit der Bleimantel dem inneren Überdruck standhält, muß er entsprechend bandagiert werden. Dieser für Bleimäntel notwendige erhöhte Druckschutz kann bei Kabeln mit einem verstärkten Aluminiummantel entfallen, wodurch das Kabel billiger wird. In beiden Fällen erhält das Kabel einen guten Korrosionsschutz.



Einleiterkabel mit runden Adern erhalten über der äußeren Aderabschirmung eine in langem Schlag aufgebrachte Wendel aus Aluminiumflachdraht, wodurch zwischen der Oberfläche der Ader und dem darübergepreßten Mantel ein Hohlraum entsteht, der als Gaskanal dient (Bild 7a). Auf diese abstandhaltende Wendel kann verzichtet und der Mantel unmittelbar auf die Ader gepreßt werden, wenn die Ader elliptisch geformt ist. Einleiterkabel für Erdverlegung werden üblicherweise mit Aluminiummantel ausgeführt. Gasinnendruckkabel-Systeme aus Einleiterkabeln dieser Bauart sind in Deutschland bereits für kurze Übertragungsentfernungen gebaut worden.

Außer diesen Ausführungsformen mit aufgepreßtem Blei- oder Aluminiummantel, die in England »self-contained« genannt werden, gibt es auch Dreileiterkabel in Rohrausführung (Bild 7c). Bei diesen Rohrkabeln werden drei einzelne, mit D-förmigen Gleitdrähten umgebene Adern gleichzeitig in ein Stahlrohr eingezogen, und der freie Raum im Rohr wird mit Stickstoff von hohem Druck gefüllt. Das Stahlrohr erhält den üblichen Korrosionsschutz, kann aber auch, wenn die örtlichen Verhältnisse es erfordern, zusätzlich kathodisch geschützt werden. Ein Gasinnendruck-Rohrkabel dieser Bauart ist im Umspannwerk Rehof der Großkraftwerk Franken AG, Nürnberg, eingebaut [26] (Bild 8). Kabel ähnlicher Konstruktion haben sich seit vielen Jahren in großen amerikanischen 132-kV-Netzen, z. B. bei der Detroit Edison Comp., gut bewährt. In England sind Gasinnendruckkabel bis zu einer Betriebsspannung von 275 kV entwickelt worden.

Gasinnendruckkabel haben wegen des zähflüssigen, jedoch in der Isolierung fest haftenden Tränkmittels eine verhältnismäßig hohe Stoßdurchschlagfestigkeit (bis 130 kV/mm) und eine den betrieblichen Erfordernissen genügende Dauerfestigkeit gegenüber Wechselspannungsbeanspruchung (über 20 kV/mm). Sie zeichnen sich aber zusätzlich dadurch aus, daß sich eine etwaige Masseverlagerung wegen des hohen, in der Isolierung dauernd wirksamen Gasdruckes nicht schädlich auswirken kann. Bei Verlegung von Gasinnendruckkabeln in geneigtem Gelände und auf Steilstrecken ist es deshalb nicht erforderlich, den Leiterquerschnitt zu erhöhen, um die Temperatur des Kabels möglichst niedrig zu halten und damit die Masseverlagerung zu verzögern. Der Einwand, daß bei einem (wenn auch unwahrscheinlichen) Leckwerden des Rohres oder Mantels Feuchtigkeit oder Wasser eindringen könnte und die Adern auf längeren Strecken unbrauchbar würden, ist unbegründet. Es kann nachgewiesen werden, daß auch wochenlanges Lagern von Adern in Luft mit einer relativen Feuchtigkeit von 95% praktisch keine Verschlechterung der Kabelisolierung zur Folge hat. Ein Eindringen von Feuchtigkeit und Wasser gegen den Überdruck der Gasfüllung ist überdies technisch unmöglich.

Zusammengefaßt läßt sich feststellen:

Für die Energieübertragung mit höchsten Spannungen steht eine Reihe geeigneter Kabelbauarten zur Auswahl, unter denen die ölgefüllten Kabel die meisten Vorzüge in sich vereinigen. Die Ölkabel werden für besondere Anwendungsfälle ergänzt durch die verschiedenen Bauformen der Gasinnendruckkabel. Mit diesem Programm sind die Siemens-Schuckertwerke in der Lage, für jeden Anwendungsfall eine geeignete Kabelkonstruktion vorzuschlagen.

Die Kabeltechnik kann heute manche Übertragungsaufgabe lösen, die vor Jahren noch der Freileitungstechnik überlassen werden mußte. Damit gewinnen Kabel immer mehr Bedeutung gegenüber den Freileitungen. Wegen der kapazitiven Belastung der Netze wird es aber mit Höchstspannungskabeln nicht möglich sein, die Freileitungen auch nur annähernd so stark zu verdrängen, wie es bei der Nachrichtenübermittlung der Fall ist. Mit der viel diskutierten Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom, für die die Kabeltechnik schon jetzt gerüstet ist, würden sich ohne Zweifel manche Fernleitungsprobleme leichter und auch billiger bewältigen lassen (von der Kabelseite aus gesehen) als mit dem

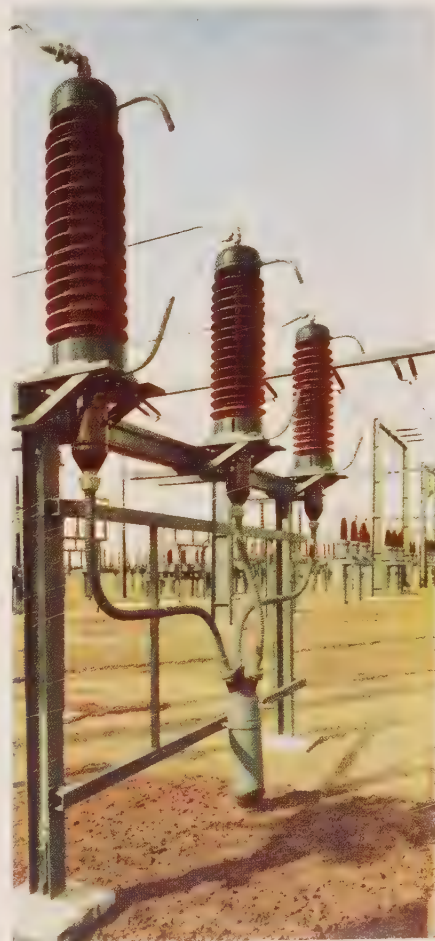


Bild 8 Freiluft-  
endverschlüsse  
der 110-kV-  
Gasinnendruck-  
Rohrkabelanlage  
bei der  
Großkraftwerk  
Franken AG,  
Nürnberg



traditionellen Drehstrom. Bisher blieb diese Technik aber noch auf örtlich begrenzte, wenn auch interessante Aufgaben beschränkt.

#### Schrifttum

- [1] Held, Ch.: 25 Jahre Siemens-Ölkabel. Siemens-Zeitschrift **27** (1953) 231 bis 246
- [2] Dichtel, C.: Das Problem der Spannungsstufung bei den Städtischen Elektrizitätswerken München. Elektrizitätswirtschaft **59** (1960) 676 bis 682
- [3] Jäschke, W.: Korrosionsschutz für metallene Kabelmäntel. Siemens-Zeitschrift **34** (1960) 813 bis 819
- [4] Pearce, K. W.: Pressure Cable Experience. Electrical Times **133** (1958) 214 bis 216
- [5] Held, Ch. und Gasser, O.: Siemens-Ölkabel. Siemens-Zeitschrift **19** (1939) 197 bis 210
- [6] Bennett und Wiseman, R.: Le Câble »Oilostatic«. Cigré Bericht Nr. 218 (1948) 197 bis 210
- [7] Brauns, H.: Die 110-kV-Druckkabelanlagen in Stuttgart. F & G-Rundschau Heft 41 (1956) S. 15
- [8] Brazier, L. G., Hollingsworth, D. T. und Williams, A. L.: An Assessment of the Impregnated Pressure Cable. Proc. IEE **78** (1953) 641 bis 660
- [9] Held, Ch. und Leichsenring, H. W.: Die Stoßspannungsfestigkeit von Hochspannungskabelanlagen. Cigré-Bericht Nr. 207 (1939)
- [10] Leichsenring, H. W. und Held, Ch.: Die Gewittersicherheit von Hochspannungskabelanlagen. Elektrizitätswirtschaft **39** (1940) 156 bis 160
- [11] Linke, G.: Ölkabel – Übertragungsleistungen und -verluste. Siemens-Zeitschrift **35** (1961) 140 bis 144
- [12] Schulze, E.: Das 110-kV-Netz von West-Berlin. Elektrizitätswirtschaft **58** (1959) 313 bis 318

- [13] Müller-Guntrum, U.: Einige Gesichtspunkte bei der Planung städtischer 110-kV-Netze. Elektrizitätswirtschaft **59** (1960) 669 bis 675
- [14] Coninx, H.: Die 110-kV-Kabelanlage der Großkraftwerk Franken AG. Elektrizitätswirtschaft **28** (1929) 375 bis 362
- [15] Willenbrink, J.: Die 110-kV-Ölkabelanlage der Berliner Licht- und Kraft (Bewag) -AG. Elektrizitätswirtschaft **52** (1953) 362 bis 366
- [16] Pierazzuoli, M.: Impianto di Cavi of Posati Verticalmente. L'Elettrotecnica XLIII (1956) 107 bis 111
- [17] Gazzana-Prioroggia, P. und Palmieri, N.: Development of Stop-Joints for Oil-filled Cables from 230 to 400 kV. Cigré-Bericht Nr. 216 (1960)
- [18] Barnes, C. C.: E.H.V. Power Cables. Electrical Review **166** (1960) 1149 bis 1157
- [19] High-Voltage Oil-filled Cables, 330-kV-Installation for Snowy Mountains Hydro-Electric Authority. Electrical Review **165** (1959) 686 bis 688
- [20] Hemm, E.: 300-kV-Ölkabel für ein Wasserkraftwerk in Norwegen. Siemens-Zeitschrift **34** (1960) 855 und 854
- [21] Komives, L. J.: Modern Transmission Cable Practice in the USA. Cigré-Bericht Nr. 230 (1960) Appendix III
- [22] \$ 3 Mill. Cornell EHV Cable Test Project is Energized El. World October **10** (1960) 50 und 51
- [23] Tellier, M. R.: Quelques Résultats d'Essais Directs sur le Réseau a 225-kV de Câbles à Haute Tension Obtenus au Centre de Recherches et d'Essais de Fontenay. Froidure, H. G.: L'Evolution Récente de la Technique des Canalisations a Haute et Très Haute Tension sur les Réseaux Français. Extraits du Bulletin de la Société française des Electriciens, 8<sup>e</sup> Série, Tome I, N° 8 (Août 1960)
- [24] USA-Patent 1524124 (1920)
- [25] Die 138-kV-Seekabelstrecke British-Columbia-Vancouver-Insel. Journal IEE **18** (1957) 485 bis 504
- [26] Sünderhauf, H.: Die 110-kV-Gasdruck-Rohrkabelanlage bei der Großkraftwerk Franken AG in Nürnberg. Siemens-Zeitschrift **34** (1960) 819 bis 823

## Übertragungsleistungen und -verluste von Ölkabeln

VON GÜNTHER LINKE

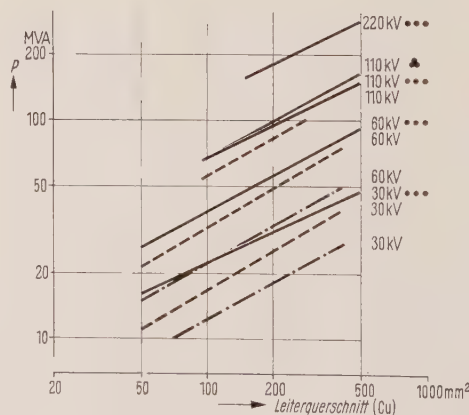
Für die Verteilung der ständig wachsenden elektrischen Energiemengen steht heute eine Anzahl verschiedener Kabeltypen zur Verfügung, die allen im Betrieb auftretenden Beanspruchungen mit Sicherheit gerecht werden. Kabel haben in Städten und industriellen Großanlagen die Freileitungen auch für höchste Spannungen zum größten Teil verdrängt [1]. Nur für den Transport des elektrischen Stromes über Land, also über sehr große Entfernungen, hält die Freileitung noch weiter ihre dominierende Stellung, weil Kabel nicht nur wegen des höheren Preises, sondern auch wegen ihrer großen Kapazität (0,2 bis 0,4  $\mu\text{F}/\text{km}$ ) für Drehstrom-Übertragungen auf mehr als 100 km Entfernung ohne Kompensation der Ladeleistung nicht in Betracht kommen.

Für Spannungen über 30 kV – und nur solche sollen hier zugrunde gelegt werden – sind Ölkabel am gebräuchlichsten. Einleiter-Ölkabel sind die einzigen Kabel, mit denen Spannungen bis zu 380 kV gemeistert werden können. Außer Ölkabeln werden in Netzen bis zu 132 kV Gasdruck- und Druckkabel verwendet; bis zu 60 kV sind auch noch vereinzelt Massekabel zu finden.

### Übertragungsleistung von Ölkabeln

Die mit Zwickel- und Einleiter-Ölkabeln verschiedener Ausführungsarten zu übertragenden Leistungen bei Verlegung in Erde sind in Bild 1 dargestellt.

Vergleicht man z. B. für einen Leiterquerschnitt von 150 mm<sup>2</sup> (Cu) die Übertragungsleistungen dieser Kabel mit den Leistungen der bis vor etwa 30 Jahren allein verfügbaren Massekabel, so ergibt sich für 60 kV eine Steigerung der Leistung von 28 MVA beim Dreimantel-



Temperaturerhöhung  
durch Stromlast  
Ölkabel 50 °C  
Massekabel 25 °C

— Einleiter-Ölkabel in einer Ebene ...  
— Zwickelölkabel im Dreieck ..  
- - - Dreimantelmassekabel

Bild 1 Übertragbare Leistungen  $P$  verschiedener Kabelbauarten in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt bei Legung im Erdboden



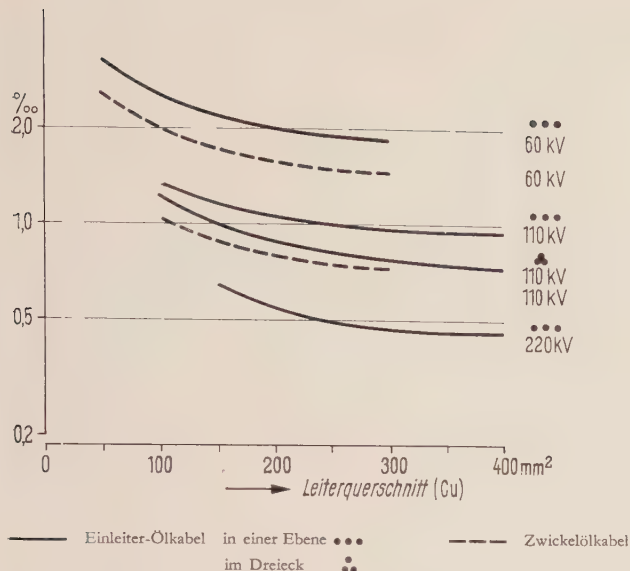


Bild 2 Verluste  $P_v$  von Ölkabeln je km in ‰ der übertragbaren Leistung in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt

kabel auf 41 MVA beim Zwickelölkabel und auf 48 MVA beim thermisch noch günstigeren Einleiter-Ölkabel (Legung in einer Ebene). Diese Steigerung ist einerseits durch die höhere Grenzdauerfestigkeit der Ölkabel (45 kV/mm) im Vergleich mit Massekabeln (nur 15 kV/mm) bedingt, wodurch die Isolierdicke der Adern für gleiche Nennspannung wesentlich herabgesetzt werden konnte; andererseits ergibt sich die Steigerung durch die wegen der thermischen Stabilität der Ölkabel höhere zulässige Betriebsübertemperatur der Leiter von 50 °C gegenüber der von 25 °C für Massekabel über 30 kV. Mit 60 kV haben aber Massekabel bereits ihre Spannungsgrenze erreicht, wogegen die Übertragungsleistung der Ölkabel durch den Übergang zu höheren Spannungen weiter gesteigert werden kann, z. B. für den genannten Querschnitt in Einleiterausführung bei 110 kV auf über 84 MVA und bei 220 kV auf 160 MVA.

Gasdruck- und Rohrkabel entsprechen in ihrer Belastbarkeit etwa den Zwickelölkabeln, sind also in dieser Hinsicht den Einleiter-Ölkabeln unterlegen.

### Übertragungsverluste

Bei Massekabeln sind die Übertragungsverluste und besonders die Zusatzverluste wegen der meistens kleinen Übertragungsleistung nur von geringem Einfluß. Dagegen gewinnen die Verluste bei Einleiterkabeln für höhere Leistungen sowie bei allen Kabeln mit hoher mittlerer Belastung immer mehr an Bedeutung und beeinflussen nicht selten die Wahl des zu verlegenden Kabels [2].

Die Übertragungsverluste von z. B. unmagnetisch armierten Ölkabeln können zwar im Bereich von 50 bis 125 kW/km liegen (je nach dem Leiterquerschnitt und der Legungsart der Kabel), jedoch sind diese Werte verhältnismäßig klein gegenüber der von den Kabeln über-

tragenen Leistung (Bild 2). Dieses Verhältnis wird mit zunehmender Spannung und wachsendem Leiterquerschnitt wegen der steigenden Übertragungsleistung kleiner. Aus dem Kurvenverlauf ergibt sich sehr deutlich, welche Vorteile die Wahl einer höheren Übertragungsspannung bietet; diese Vorteile sollten, wenn die Wahl der Spannung noch offen ist, auf jeden Fall ausgenutzt werden.

### Spannungsabhängige Verluste

Die von der Betriebsspannung des Kabels abhängigen dielektrischen Verluste sind gegenüber den stromabhängigen Übertragungsverlusten nur klein. Sie werden hervorgerufen durch den Wirkanteil des Ladestromes ( $I_0$ ) und ergeben für eine Phasenspannung  $U_0$

$$P_{\text{diel}} = U_0 I_0 \tan \delta$$

oder, wenn man statt des Ladestromes die Kabelkapazität  $C$  einsetzt,

$$P_{\text{diel}} = U_0^2 \omega C \tan \delta$$

Bei fester Frequenz ( $\omega = 2\pi f$ ) sind sie also von der Kapazität, dem Verlustfaktor und dem Quadrat der Betriebsspannung, nicht jedoch von der Belastung des Kabels abhängig.

Für Systeme gleicher Nennspannung brauchen sie bei einem Vergleich der Kabeltypen nicht beachtet zu werden. Bei der Bestimmung der Belastbarkeit eines Kabels wird für Nennspannungen von 110 kV und mehr die durch die dielektrischen Verluste bedingte Temperaturerhöhung berücksichtigt. Sie beträgt z. B. für 110-kV-Ölkabel etwa 1 grd, bei 220-kV-Kabeln mit großen Leiterquerschnitten bis zu 4 grd und bei Kabeln für 380 kV Nennspannung sogar bis 12 grd.

### Stromabhängige Verluste

Die durch die Strombelastung eines Kabels bedingten Verluste machen den größten Teil der Übertragungsverluste aus. Sie setzen sich aus mehreren Anteilen zusammen, die sich im Wirkwiderstand des Leiters ausdrücken. Der Wechselstromwirkwiderstand  $R_w$  eines Kabels ist um einen vom Kabeltyp, von der Legenanordnung und vom Belastungsstrom abhängigen Anteil  $\Delta R$  größer als der mit Gleichstrom meßbare ohmsche Widerstand  $R_g$  des Leiters. Damit lassen sich die stromabhängigen Verluste in der Gleichung ausdrücken:

$$P_w = I^2 R_g + I^2 \Delta R = I^2 R_w$$

Der größte Anteil des Zusatzverlustes  $I^2 \Delta R$  sind die sogenannten transformatorischen Verluste. Sie sind der Energieaufwand, der durch die in den metallenen Hüllen der Kabel, d. h. in den Mänteln und Bewehrungen, fließenden Ströme verursacht wird und der vom Leiter her gedeckt werden muß. Diese Ströme entstehen durch die vom Magnetfeld des Leiterstromes in den meistens kurzgeschlossenen Mantel- und Bewehrungskreisen induzierten Spannungen. Der hierdurch bedingte Anteil des Zusatzwiderstands ist nicht abhängig vom Belastungsstrom, solange das Kabel keine magnetischen



Hüllen hat. Bei Verwendung ferromagnetischer Bewehrungsmittel kommen zu den transformatorischen Verlusten noch die Magnetisierungsverluste hinzu, die einen vom Leiterstrom abhängigen Zusatzwiderstand bedingen.

Außer diesen beiden Hauptanteilen müssen noch jene Zusatzverluste erwähnt werden, die durch den Skin- und den Nähe-Effekt sowie durch Wirbelströme bedingt sind; sie sind aber meistens so gering, daß sie für einen Vergleich der Kabeltypen bei fester Betriebsfrequenz von 50 Hz nicht ins Gewicht fallen. Der Skin-Effekt bringt z. B. für einen Hohlleiter von 300 mm<sup>2</sup> eine Widerstandserhöhung von nur 0,4 mΩ/km, und auch die Wirbelstromverluste bedingen hierbei für ein 110-kV-Kabel nur eine Erhöhung des Wechselstromwiderstands um 0,7 mΩ/km [3]. Beide Werte sind im Vergleich zu den noch zu nennenden Anteilen der anderen Verluste von untergeordneter Bedeutung. Sie sind jedoch beide frequenzabhängig; in Sonderfällen mit von der Normalfrequenz von 50 Hz stark abweichender Frequenz muß dies u. U. beachtet werden.

Die stromabhängigen Übertragungsverluste und die Zusatzverluste können an bereits verlegten längeren Kabeln durch wattmetrische Messungen oder an Kurzlängen in den Laboratorien mit dem Vektormesser bestimmt werden. In beiden Fällen ist zur Bestimmung des Zusatzwiderstands auch der Gleichstromwiderstand zu ermitteln, der sich bei Strombelastung mit der Leitertemperatur ändert.

Man kann nun die Summe der Zusatzwiderstände in Prozent des Gleichstromwiderstands ausdrücken. Bei der Beurteilung dieser Werte ist jedoch zu beachten, daß der Gleichstromwiderstand stets dem Leiterquerschnitt umgekehrt proportional, d. h. bei einem Querschnitt von 50 mm<sup>2</sup> zehnmal so groß ist wie bei einem Querschnitt von 500 mm<sup>2</sup>. Der Zusatzwiderstand hingegen wird nur wenig vom Leiterquerschnitt beeinflusst.

Nachstehend werden Kabel verschiedener Bauweise, aber gleichen Leiterquerschnitts oder gleicher Übertragungsleistung, miteinander verglichen. Die Ergebnisse beruhen teils auf Messungen an kurzen Kabeln im Laboratorium des Kabelwerks der Siemens-Schuckertwerke in Berlin-Gartenfeld, teils auf Messungen an fertiggestellten Großanlagen im In- und Ausland.

### Vergleiche an 110-kV-Kabel-Systemen

Der Übertragungsverlust ist bei gleichbleibender Betriebsspannung von der Bauweise des verwendeten Kabels und seiner Legung abhängig. Bild 3 zeigt in Form eines Balkendiagramms die Leitertemperaturen, prozentualen Wirkwiderstände und Verlustleistungen für die verschiedenen Arten der Einleiter-Ölkabel, Zwickelölkabel oder Gasdruck-Rohrkabel. Angenommen wurde eine mit 110 kV verketteter Spannung zu übertragende

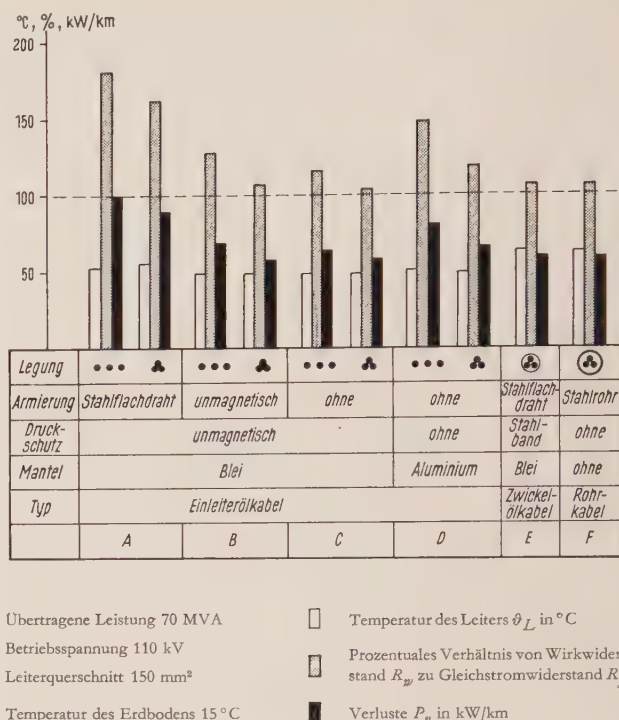


Bild 3 Leitertemperatur  $\vartheta_L$ , prozentuales Verhältnis von Wirkwiderstand zu Gleichstromwiderstand und Verluste  $P_p$  für verschiedene Kabelbauarten und Legenordnungen

Leistung von 70 MVA, ein Kupferquerschnitt von 150 mm<sup>2</sup>, wie er für ein Dreileiterkabel erforderlich ist, und eine Erdtemperatur von 15 °C.

Zunächst sollen die Werte an Einleitersystemen untersucht werden, und zwar bei der Legung in einer Ebene (Achsenabstand  $a = 16$  cm), wie sie früher vorherrschend war und in vielen Fällen auch heute noch angewendet wird. Bei den genannten Kabel- und Leistungsdaten beträgt der Übertragungsverlust für ein Kabel mit offener Stahlflachdraht-Bewehrung etwa 100 kW/km (Spalte A), für ein Kabel mit offener unmagnetischer Bewehrung etwa 70 kW/km (Spalte B) und für das unbewehrte Kabel etwa 64 kW/km (Spalte C). Die Verluste sind also beim dritten Kabeltyp um 36 % niedriger als beim erstgenannten. Der Zusatzwiderstand, d. h. die Erhöhung des Wechselstromwiderstands gegen den Gleichstromwiderstand, geht dabei von 81 % auf 18 % des Gleichstromwiderstands zurück, wie ein Vergleich der mittleren Balken in den Spalten A und C für diese Legung zeigt. Diese mittleren Balken lassen deutlich das Verhältnis des Wechselstromwiderstands zum Gleichstromwiderstand erkennen. Der Wert von 100 % (reiner Gleichstromwiderstand) ist selbstverständlich nicht unterschreitbar; die über der 100 %-Linie gezeichneten Balken geben den Zusatzwiderstand im Maßstab des Gleichstromwiderstands an. Alle Werte für Einleiterkabel mit Aluminiummantel liegen zwischen den



Werten der Bleimantelkabel mit Stahldraht und mit unmagnetischer Bewehrung.

Bei Legung der Einleiterkabel im Dreieck mit gegenseitiger Berührung, also bei möglichster Einengung der magnetischen Felder, werden die Zusatzwiderstände und damit die Verluste kleiner. Den Mindestwert der Verluste erhält man bei unbewehrten Einleiterkabeln; bei Übertragung von 70 MVA beträgt er 57 kW/km (Spalte C). Der Zusatzwiderstand ergibt sich dabei zu 6% des Gleichstromwiderstands.

Der Zusatzwiderstand des Zwickelölkabels und des Rohrkabels beträgt dagegen 9% des Gleichstromwiderstands und die Verlustleistung 62 kW/km (Spalten E und F). Beide Werte liegen somit höher als bei den unbewehrten Einleiterkabeln. Mit Rohrkabeln sind u. U. noch etwas kleinere Werte für den Zusatzwiderstand erreichbar als mit Zwickelölkabeln [4].

Die Anordnung von drei unbewehrten Einleiterkabeln im Dreieck ergibt nicht nur die niedrigsten Verluste unter allen betrachteten Kabeltypen, sondern ermöglicht auch – gleichen Leiterquerschnitt und gleiche Leitertemperatur vorausgesetzt – die größten Übertragungsleistungen. Für 70 MVA, 150 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt und 15 °C Erdbodentemperatur ergibt sich deshalb nur eine Leitertemperatur von 50 °C gegenüber 65 °C bei Zwickelöl- und Rohrkabeln. Rechnet man aber mit 65 °C Leitertemperatur auch bei den Einleiterkabeln, dann erhält man in Dreieckanordnung bei unbewehrten Kabeln eine übertragbare Leistung von 84 MVA und bei unmagnetisch bewehrten Kabeln von 83 MVA, bei den stahldrahtbewehrten Einleiterkabeln hingegen nur 77 MVA. Einleiter-Ölkabel sind also höher belastbar als Zwickelölkabel oder Rohrkabel gleichen Leiterquerschnitts. Bezogen auf die vorgegebene Leistung von 70 MVA bieten die querschnittgleichen Einleiterkabel somit noch eine gewisse Leistungsreserve.

Dies bedeutet aber – und das ist für die Projektierung der Anlagen und deren hohe Aufbaukosten besonders wichtig –, daß bei Einleiterkabeln bei sonst gleichen Voraussetzungen kleinere Leiterquerschnitte als bei Dreileiterkabeln genommen werden können, um die gegebene Leistung zu übertragen, d. h., daß Material, besonders Kupfer, eingespart werden kann. In Bild 4 sind für die erwähnten Kabeltypen die Leiterquerschnitte für 65 °C Leitertemperatur und 70 MVA, die zugehörigen Verlustleistungen und die Verhältnisswerte Wirkwiderstand zu Gleichstromwiderstand dargestellt. Wie schon Bild 3 zeigt, muß der Leiterquerschnitt (Kupfer) für Zwickelöl- und Rohrkabel 150 mm<sup>2</sup> betragen (Spalte L und M in Bild 4). Für Einleiterkabel mit magnetischer, offener Stahlfachdraht-Bewehrung in Dreiecklegung genügt aber ein Querschnitt von 124 mm<sup>2</sup> (Spalte G). Für die unbewehrten Kabel im Dreieck sind sogar nur 108 mm<sup>2</sup> (Spalte I) erforderlich, d. s. 28% weniger als beim Dreileiterkabel.

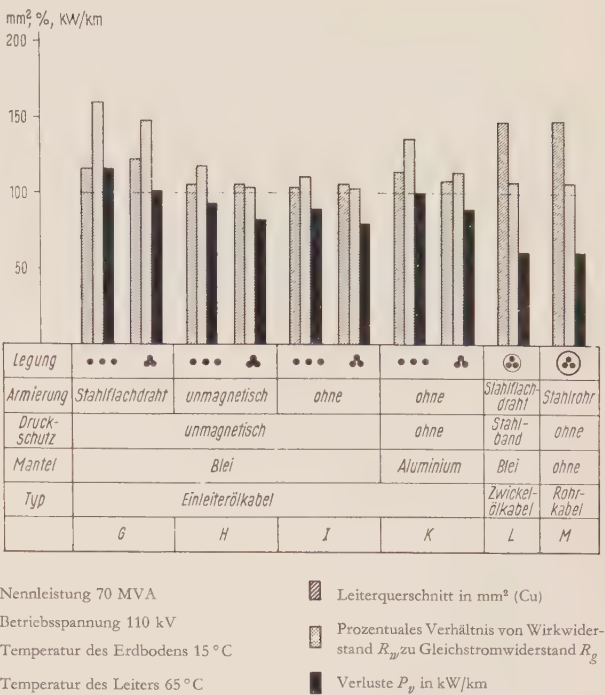


Bild 4 Leiterquerschnitt, prozentuales Verhältnis von Wirkwiderstand zu Gleichstromwiderstand und Verluste  $P_p$  bei verschiedenen Kabelbauarten und Legenanordnungen

Die beiden Balkendiagramme ermöglichen einen Überblick über den Einfluß der Armierung und Legung auf die stromabhängigen Verluste und über die erforderliche Bemessung der Leiterquerschnitte.

Die Wahl der geeigneten Kabelkonstruktion hängt aber nicht nur von der zu übertragenden Leistung und den Übertragungsverlusten und Anlagekosten ab, sondern ist oft durch die örtlichen Verhältnisse, z. B. Höhenunterschiede, und durch Verlegeschwierigkeiten bedingt.

Müssen aus Gründen der mechanischen Festigkeit unbedingt Kabel mit voller Stahldrahtbewehrung verwendet werden, z. B. bei Flußkreuzungen oder in Meerengen, so lassen sich die Verluste durch die Verringerung des Widerstands des Mantel- und Bewehrungsstromkreises und durch Schwächung des magnetischen Feldes des Leiterstromes senken [5]. Die Übertragungsverluste werden damit naturgemäß ebenfalls kleiner. Eine nennenswert höhere Belastbarkeit der Kabel wird aber nicht erreicht.

Die Zusatzverluste von Übertragungssystemen aus Einleiterkabeln lassen sich auch noch auf anderem Wege senken, und zwar durch zyklische Auskreuzung des Mantel- und Bewehrungsstromkreises der drei Adern. Hierbei ist der Einbau von Muffen mit Isolierzwischenstück notwendig. Die Bleimäntel und gegebenenfalls vorhandene unmagnetische Bewehrungen der drei Adern werden an diesen Muffen durch zyklische Auskreuzung untereinander verbunden. Dazu muß sich jedoch die



Trasse in drei möglichst gleiche Abschnitte (oder ein Vielfaches davon) aufteilen lassen. Der Zusatzwiderstand konnte z. B. an einer Versuchsstrecke von 0,012  $\Omega$ /km auf 0,003  $\Omega$ /km gesenkt werden. Dieses Verfahren ist jedoch für Kabel mit magnetischer Bewehrung nicht geeignet.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Systeme aus Einleiterkabeln können größere Leistungen übertragen als Dreileiterkabel gleichen Querschnitts.

Bei Einleiterkabeln werden Zusatzwiderstände und -verluste wesentlich durch Bewehrung und Verlegungsart beeinflußt. Sie sind am kleinsten, wenn die Kabel unbewehrt oder unmagnetisch bewehrt im Dreieck einander berührend ausgelegt werden.

Bei Bemessung für gleiche thermische Grenzleistung erfordern Zwickelöl- und Rohrkabel einen größeren

Leiterquerschnitt als Einleiter-Ölkabel. Sie haben dabei jedoch kleinere Gesamtverluste, da ihr Wirkwiderstand kleiner ist (s. Bild 4).

Bei Übertragung gleicher Leistungen mit Kabeln gleichen Querschnitts haben unbewehrte, im Dreieck verlegte Einleitersysteme die kleinsten Übertragungsverluste; ihre Betriebstemperatur ist dabei niedriger als die der anderen Kabeltypen; sie haben also diesen gegenüber eine gewisse Leistungsreserve.

#### Schrifttum

- [1] Bax, H.: Aktuelle Planungsprobleme großstädtischer Elektrizitätsversorgungsunternehmen. *Elektrizitätswirtschaft* 57 (1958) 359 bis 361 und 392 bis 397
- [2] Geiling, L.: Über die Planung von Höchstspannungskabel-Anlagen. *Siemens-Zeitschrift* 29 (1955) 294 bis 301
- [3] Neher, I. H. und McGrath, M. H.: The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems. *Trans. AIEE Part III*, 57-660 (1957) 752 bis 772
- [4] Meyerhoff, L. und Eager, G. S.: A-C Resistance of Segmental Cables in Steel Pipe. *Trans. AIEE* 68 (1949) 816 bis 834
- [5] Michielsen, T., Proos, C. F. und de Zoeten, G.: Crossing a 5,7 km wide Estuary with Single Phase 50 kV Cable. *CIGRE-Bericht* 221 (1952)

## Das Prozeß-Signalsystem, seine Konstruktion und Anlagentechnik

VON HORST KALTENECKER UND HERBERT STEINBORN

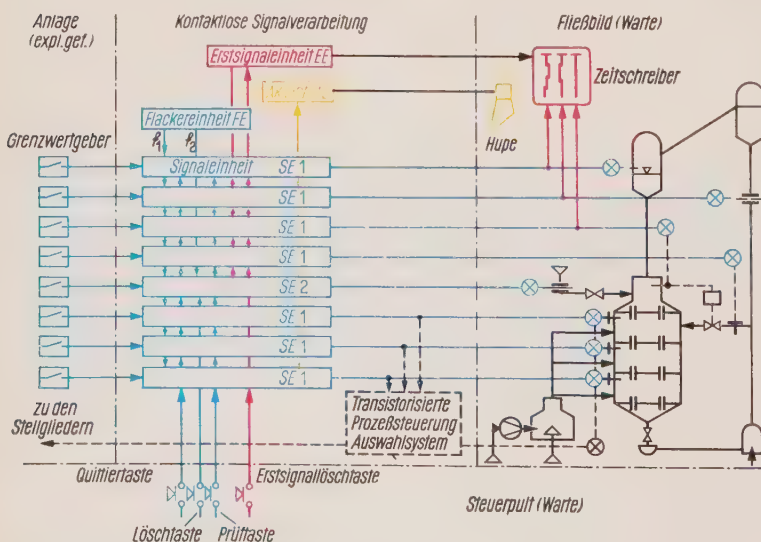
Signalanlagen der hier betrachteten Art dienen zur Sicherung und Überwachung von Betrieben und haben dort die Aufgabe, Grenzwerte von Meßgrößen (Prozeßzustände) dem Betriebspersonal zu melden. Bei besonders gefährlichen Prozeßzuständen wird gleichzeitig eine Notoperation eingeleitet. Die einfache Grenzwertmeldung durch Ein-Aus-Signal, z. B. einer Glühlampe, ist bei

wenigen Meßwerten noch ausreichend. In einer Warte jedoch, in der im allgemeinen sehr viele Signale im Betriebsschaubild oder in Leuchtfeldern angebracht werden sollen, ist dieses Verfahren ungeeignet. Damit das Betriebspersonal auch bei einer großen Anzahl von Signalen die Übersicht behält, müssen über die einfache Ein-Aus-Signalisierung hinaus weitere Unterscheidungs-

merkmale optischer und akustischer Art eingeführt werden. Man muß u. a. neu eintreffende Signale besonders kenntlich machen, das erste Signal jeder Gruppe herausstellen und alle Signale kennzeichnen, die vom Betriebspersonal bereits erkannt worden sind. Dazu ist eine Verarbeitung der Signale notwendig. In der chemischen Industrie wird zusätzlich gefordert, daß die Signale eigen-sicher übertragen werden, damit man keine explosionsgeschützten Grenzwertmelder braucht, die einen wesentlich höheren Aufwand bedeuten würden.

Der heutige Entwicklungsstand der Transistortechnik hat es ermöglicht, ein neues kontaktloses Prozeß-Signalsystem nach dem Bausteinprinzip einzuführen, das die genannten Aufgaben erfüllt.

Bild 1 zeigt das Prinzip des Prozeß-Signalsystems am Beispiel einer Krackanlage. Die Darstellung gliedert sich in



blau Grundaufbau (Letztwertsignalisierung) rot Erstwertsignalisierung  
gelb Akustische Signalisierung schwarz Weitere Verarbeitung

Bild 1 Gesamtanlage einer Prozeß-Signalisierung



vier Teile: die explosionsgefährdete Anlage, die kontaktlose Signalverarbeitung, das Fließbild in der Warte und das Steuergerät.

### Letztwertsignalisierung

Grenzwertmelder, die sich in der explosionsgefährdeten Anlage befinden, signalisieren die Prozeßzustände in die Signal- und Steueranlage. Hier wird jedes Signal von einer zugeordneten Signaleinheit  $SE$  verarbeitet und optisch von einer Glühlampe auf dem Fließbild in der Warte wiedergegeben. Die einfache Signaleinheit  $SE_1$  meldet jeden neu eintreffenden Grenzwert durch Flackerlicht (Blinklicht) der entsprechenden Signallampe. Dieser Zustand wird so lange gespeichert, bis der Betriebsmann die Quittiertaste betätigt hat. Dann gehen alle Flackerzustände, die seit der letzten Quittierung eingegangen sind, in Dauerlicht über. Verschwinden die Grenzwerte, dann verschwindet auch das Dauerlicht. Möchte man auch das Verschwinden der Grenzwerte kennzeichnen, so verwendet man die Signaleinheit  $SE_2$ . Das Dauerlicht erlischt dann nicht, sondern geht in langsames Flackerlicht über. Dieses wird durch die Lösch Taste beseitigt. Zur Lampenprüfung dient die Prüftaste.

Eine Erweiterung des Prozeß-Signalsystems, die allgemein üblich ist, um eine richtungsunabhängige Sammelmeldung zu erhalten, ist die akustische Signalisierung. Die akustische Einheit  $AE$  sorgt dafür, daß jedes Flackerlicht (neuer Grenzwert) von einem dauernden oder intermittierenden Ton einstellbarer Frequenz begleitet wird. Als akustischer Geber wird ein Lautsprecher verwendet.

### Erstwertsignalisierung

In Verriegelungsanlagen fallen meistens mehrere Grenzwerte gleichzeitig an. Da in der Regel der erste Grenzwert die Anlage abschaltet, gibt dieser auch Aufschluß über die Ursache der Störung. Eine Erweiterung der Anlage, die im Bild 1 rot dargestellt ist, dient dazu, den ersten Grenzwert besonders zu kennzeichnen. Eine Erstsingaleinheit  $EE$  bewirkt, daß die dem ersten Grenzwert zugeordnete Signallampe nicht ohne weiteres quittiert werden kann, d. h., nach einer Quittierung gehen alle neuen Grenzwerte in Ruhelicht über, nur der zuerst angekommene flackert weiter. Er kann lediglich mit einer Erstsingalloschtaste quittiert werden. Interessiert außerdem die genaue Reihenfolge der eintreffenden Signale, so läßt man die Erstsingaleinheit einen Zeitschreiber im Schnellgang in Betrieb setzen. Jedem Schreibwerk des Zeitschreibers ist eine der Signalstellen zugeordnet.

Schließlich ist im Bild 1 noch gestrichelt angedeutet, daß man die Grenzwerte jeder Signaleinheit zur weiteren Verarbeitung in kontaktlosen Steuerungen oder Auswahl-systemen verwendet.

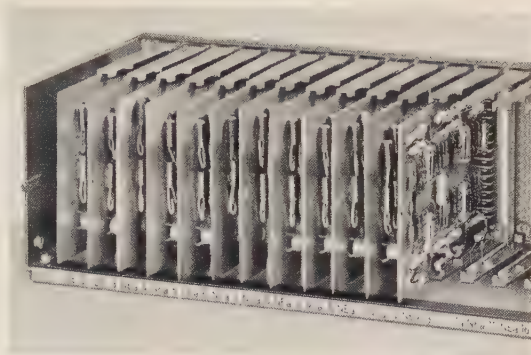


Bild 2 Signaleinheit

### Konstruktion der Steckeinheiten

Zum Prozeß-Signalsystem gehören folgende Bausteine:

Signaleinheit	$SE_1$ ( $SE_2$ )
Flackereinheit	$FE$
Akustische Einheit	$AE$
Erstsingaleinheit	$EE$

Die Schaltung der einzelnen Bausteine besteht aus der Kombination mehrerer Grundeinheiten, wie Transistoren, Widerständen und Dioden. Um diese Bausteine im Störfall schnell austauschen zu können, wurden sie steckbar ausgeführt.

Jede dieser Steckeinheiten besteht aus einer Grundplatte, den Bauelementen und einer Stiftkontaktleiste. Bild 2 zeigt die Signaleinheit. Alle anderen Steckeinheiten sind in gleicher Weise nach der Technik gedruckter Schaltungen ausgeführt.

Sollte ein Bauelement schadhaft werden, so kann es ausgelötet und durch ein neues ersetzt werden. Da alle Steckeinheiten unterschiedlich angeordnete Verriegelungsstifte haben, können Fehlverbindungen durch Einstecken falscher Steckeinheiten nicht auftreten. Um die entwickelte Wärme bei Leistungstransistoren besonders gut abzuleiten, sind diese am Plattenrand angeordnet.

### Besondere Vorkehrungen für eigensichere Signalisierung

Die Signaleinheiten können auch für eigensichere Stromkreise herangezogen werden. Die Signalströme sind eingangseitig so klein, daß der Eingangskreis (Signalleitung) eigensicher ist. Dadurch wird der Aufwand besonders bei den Grenzwertmeldern klein gehalten. Auf der Signaleinheit haben die geätzten Leiterbahnen des eigensicheren Eingangs und die dazugehörigen Bauteile den vorgeschriebenen Abstand gegeneinander und gegen andere Bauteile.

Um den Bedingungen für die Länge der Kriechwege auf den Stift- und Federleisten Genüge zu tun, sind auf den Steckerleisten die gefährdeten Anschlüsse von geerdeten Stift- und Federkontakten umgeben. Beschädigungen der geätzten Seite der Leiterplatte (Signaleinheit) wird durch eine zusätzliche stärkere Lackschicht vorgebeugt.



## Leistungsrelais

Die Signaleinheiten können unmittelbar Signallampen, Relais, Zeitschreibwerke schalten und die Tonfrequenzspannung für den Lautsprecher abgeben. Zum kontaktlosen Schalten von Stellgliedern größerer Leistung muß man Ausgangssignal-Umformer zur Leistungsverstärkung heranziehen.

Der Leistungsverstärker für Gleichstrom besteht ebenfalls aus einer geätzten Leiterplatte mit den erforderlichen Bauteilen. Jedoch ist der Leistungstransistor zur besseren Wärmeabstrahlung fest mit abgewinkelten Kühlblechen verschraubt.

Größe und Aufbau des Wechselstrom-Leistungsrelais werden vom Übertrager bestimmt, der den Schaltobjekten angepaßt werden muß. Der Übertrager und die Leiterplatte für den Eingangsteil sind gemeinsam an einem Montagebügel befestigt. Der Übertrager trennt Eingangsspannung und Ausgangsspannung galvanisch (Stromversorgung der Signalanlage gegen Netzspannung). Die Eingangsseite des Wechselstrom-Leistungsrelais wird von einer Lötleiste dargestellt, der Ausgang von einem fest verlöteten Kabel.

## Aufbau der Signal- und Steuerschränke

Zum Unterbringen der Steckeinheiten ist in Steuerschränken übereinanderliegend eine Reihe von Steckrahmen angeordnet. Als Grundbauteil dient ein Rahmen aus zwei Seitenblechen mit zwei dazwischenliegenden eingeschweißten Winkelschienen. An diesem sitzen die eigentlichen Träger für die Steckeinheiten (Bild 3). Sie sind U-förmig, und jeder ihrer beiden Schenkel hat eine Nut zur Führung einer Leiterplatte. Jede Steckeinheit wird somit bis zum sicheren Ineinandergreifen der Stiftleiste in die Federleiste geführt. Ein seitliches Ausweichen ist nicht möglich. Außer den Trägern für die Steckeinheiten enthält ein solcher Schrank Anschlußklemmen, Sicherungstreifen und zwei getrennte Kabelbäume, einer davon für eigensichere Leitungen. Die Steckrahmen sind nach beiden Seiten offen, so daß die Einheiten gut durchlüftet werden.

Die Normalhöhen der Steuerschränke sind 0,7, 1,5 und 2 m bei 600 mm × 230 mm Grundfläche. In ihnen können 3, 8 oder 10 Steckrahmen untergebracht werden. Jeder Rahmen faßt bis zu 25 Steckeinheiten. Sind Rangierverteiler erforderlich, so vermindert sich die Anzahl der Steckrahmen um ein bis zwei Stück.

## Sonstige Bauelemente

Die für die Überwachung erforderlichen Bauteile, wie Signallampen, Prüf-, Quittier- und Löschtasten, werden auf Fließbildern oder Signaltafeln untergebracht. Raumsparende Zeitschreiber, auf denen die eintreffenden Signale in der Reihenfolge ihres Eintreffens abgelesen wer-

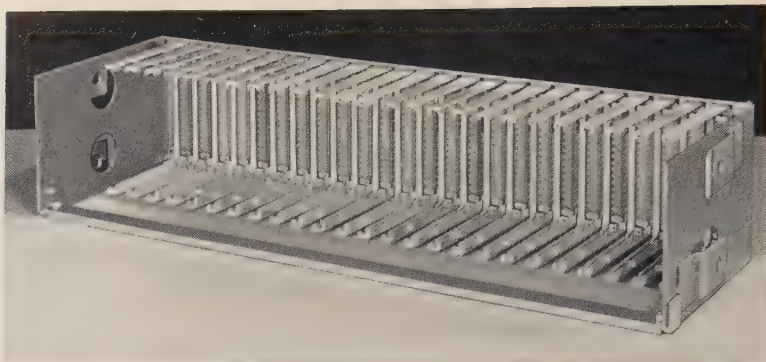


Bild 3 Steckrahmen für 25 Steckeinheiten

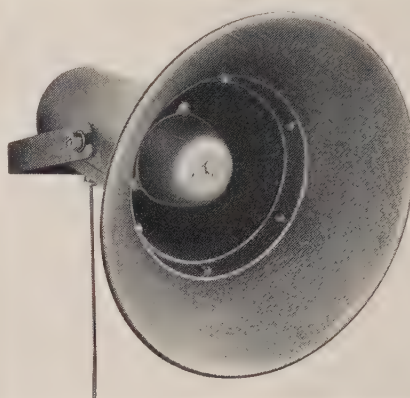


Bild 4  
Lautsprecher  
zum Anschluß  
an die  
akustische  
Einheit

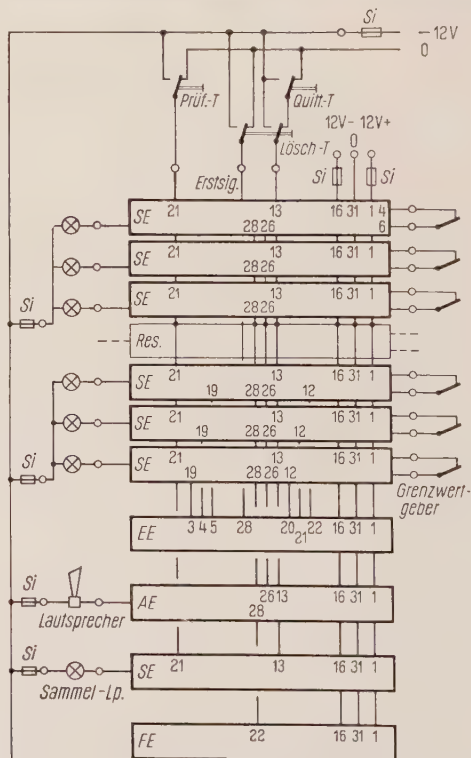


Bild 5 Schaltungsbeispiel einer Prozeß-Signalanlage. Die Ziffern 1 bis 31 kennzeichnen die Anschlüsse an der Steckerleiste



den können, haben hier ebenfalls ihren Platz. Zu erwähnen wäre noch der Lautsprecher, der an die akustische Einheit angeschlossen wird (Bild 4). Er kann, da er explosionsgefährdet ist, auch in explosionsgefährdeten Räumen montiert werden.

Schaltungsbeispiel

Der im Bild 5 dargestellte Verdrahtungsplan zeigt eine kleine Anlage für optische und akustische Signalisierung mit Quittierung. Sie besteht aus sechs Signaleinheiten für Grenzwertgeber, einer Signaleinheit für Sammelanzeige, der akustischen Einheit, der Flacker- und der Erstsinal-Einheit. Dabei wurden drei Signaleinheiten mit einer Erstsinaleneinheit gekoppelt. Die Anlage kann durch neu hinzugefügte Signaleinheiten beliebig erweitert werden. Das gleiche gilt für die Erstsinaleneinheit.

Beispiele für Anlagen

Einige Möglichkeiten des Bausteinsystems sollen an Beispielen erläutert werden. In die zeichnerische Darstellung dazu ist lediglich das zur Erklärung Notwendige aufgenommen worden. Bild 6 zeigt, wie man von einzelnen Gruppen eine Sammelmeldung durchführen kann. Jeder Gruppe ist eine akustische Einheit zugeordnet, die ausgangseitig eine Signaleinheit für die optische Gruppenmeldung ansteuert. Für die Quittierung der einzelnen Gruppen können, wie im Bild dargestellt ist, getrennte Tasten verwendet werden. Die akustische Signalisierung wird im Beispiel mit nur einem Lautsprecher gegeben. Trotzdem kann man bei einiger Übung an der akustischen Signalisierung auch dann die Gruppen unterscheiden, wenn die beiden Töne unterschiedlicher Frequenz gleichzeitig angeregt sind. Eine bessere Lösung der akustischen Signalisierung bei zwei Gruppen wäre der Anschluß je einer akustischen Einheit an je einen Ausgang einer Doppel-Flackereinheit. Die Ausgänge dieser Doppel-Flackereinheit werden im Gegentakt geschaltet. Bringt eine Gruppe das akustische Signal allein, so ertönt ein akustisches intermittierendes Signal mit der Frequenz  $f_1$  oder  $f_2$ . Bringen beide Gruppen das akustische Signal, so schiebt sich jeweils in die Tonpause der Frequenz  $f_1$  die Frequenz  $f_2$  und umgekehrt. Man hört dann zwei Töne, die sich abwechseln. Man kann aber auch von allen Signaleinheiten aller Gruppen eine eigene akustische Einheit ansteuern, die besonders einem Lautsprecher zugeordnet ist, so daß die unterscheidende Gruppenmeldung nur noch optisch erkennbar wird. Das einfachste ist schließlich, für jede Gruppe einen eigenen Lautsprecher vorzusehen.

In Bild 7 wird gezeigt, wie zwei Gruppen, die jeweils in Erstwertsignalisierung zusammengefaßt sind, über das gemeinsame elektrische Leistungsrelais  $W$  auf einen Zeitschreiber arbeiten. Bei der oberen Gruppe ist der Signallampenausgang an den Schreiber angeschlossen. Das hat den Vorzug, daß die Grenzwerte gespeichert vorliegen und die Quittierung zeitlich erfaßt wird, da bis zur Quittierung die Schreibwerke im Rhythmus des Flackerlicht-

tes mitarbeiten. Die Aufzeichnung wird durch den Rhythmus auch fülliger und übersichtlicher.

Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß zwei Grenzwerte, die innerhalb einer Dunkelpause des Flackerlichtes (0,5 bis 1 s) gleichzeitig auftreten, in der Aufzeichnung nicht unterschieden werden können. Der erste Grenzwert wird jedoch durch die optische Auswahl in jedem Fall herausgestellt.

Bei der unteren Gruppe in Bild 7 werden die Grenzwerte an einer Stelle übernommen, an der genaue zeitliche und statische Übereinstimmung mit den Signalen des Grenzwertmelders vorliegt. Diese Signale müssen jedoch durch

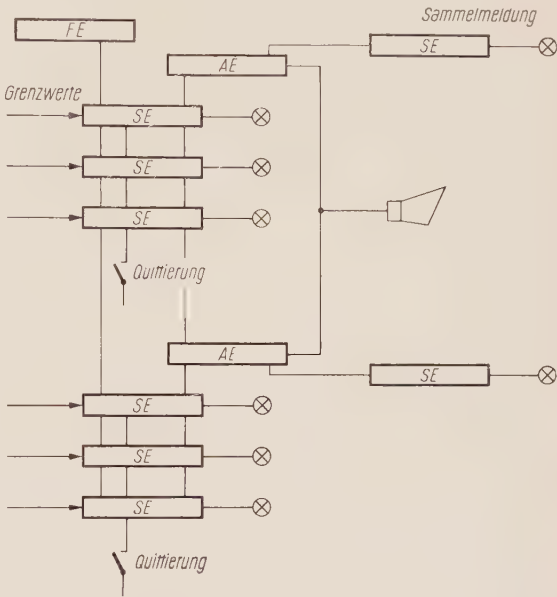


Bild 6 Anlagenbeispiel mit Gruppenmeldung, gemeinsamer Hupe und getrennter Quittierung

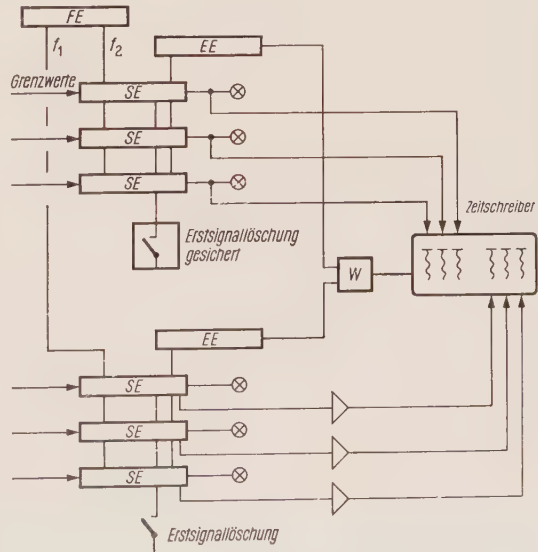


Bild 7 Anlagenbeispiel mit Erstsinal-Gruppenmeldung, verschiedener Flackerfrequenz und gemeinsamem Zeitschreiber



je einen einstufigen Transistor-Verstärker verstärkt werden. Man verwendet dazu eine Flachbaugruppe, die insgesamt sechs Weder-Noch-Logikelemente enthält. Jedes einzelne Logikelement kann als einstufiger Transistor-Verstärker benutzt werden.

Im vorliegenden Beispiel ist eine Doppel-Flackereinheit verwendet worden, deren Ausgänge unabhängig voneinander geschaltet sind, so daß jeder Gruppe eine eigene Flackerfrequenz zugeordnet ist. In der oberen Gruppe ist noch angedeutet, daß die Erstsignallöschtaaste unter Verschuß gehalten wird oder nur mit Sicherheitsschlüssel betätigt werden kann. Das wird öfters verlangt, weil das Ergebnis der Auswahl des ersten Grenzwertes für die Betriebsstörung meistens eine sehr wichtige Information darstellt. Eine weitere Möglichkeit ist, jeder Gruppe ihren eigenen Zeitschreiber zuzuordnen. Liegen alle Signaleinheiten in einer Erstsignalauswahl, so muß für je fünf Signaleinheiten eine Erstsignaleinheit verwendet werden. Die Erstsignaleinheiten werden dabei an vorgesehenen Ausgängen miteinander verbunden und bilden so eine Gruppe.

Die Bilder 8 und 9 zeigen zwei verschiedene Möglichkeiten für die 2-von-3-Auswahl. In Bild 8 ist jedem Grenzwertmelder eine Signaleinheit zugeordnet, anschließend wird die 2-von-3-Auswahl vorgenommen, deren Ausgang zur Verriegelung verwendet wird. Die gestrichelt umrandete 2-von-3-Signalisierung erübrigt sich, da der Zustand schon durch die drei Signaleinheiten vor der 2-von-3-Auswahl ausreichend gekennzeichnet ist.

In Bild 9 findet die 2-von-3-Auswahl primär statt, und es wird eine 1-von-3- und 2-von-3-Signalisierung durchgeführt. Bei diesem Verfahren ist der Aufwand etwas geringer; es hat aber den Nachteil, daß bei der Signalisierung eines Grenzwertes zunächst nicht erkannt wird, welcher Grenzwertmelder das Signal ausgelöst hat. Diese

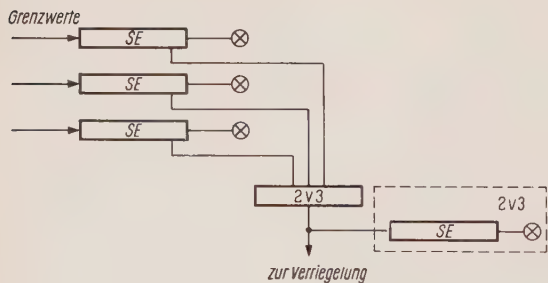


Bild 8 2-von-3-Auswahl mit getrennter Signalisierung jedes Grenzwertes

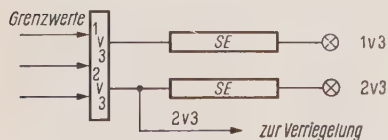


Bild 9 2-von-3-Auswahl mit 1-von-3-Signalisierung

Untersuchung muß an den Grenzwertmeldern oder an den Eingängen der 2-von-3-Auswahl selbst vorgenommen werden.

Falls eine Quittierung jedes Grenzwertes für sich an Ort und Stelle vorgenommen werden soll, kann das durch eine entsprechende Anzahl von Quittiertasten erreicht werden. Die Quittierausgänge der Signaleinheiten werden dann individuell mit einer eigenen Quittiertaste verbunden.

Möchte man die Signaleinheit lediglich als eigensicheren Verstärker verwenden, so muß man den Quittierausgang an Minuspotential legen. Der Ausgang der Signaleinheit speichert und flackert dann nicht, d. h., das Signal des Grenzwertmelders stimmt dann zeitlich und statisch mit dem Ausgang der Signaleinheit überein.

### Stromversorgung

Bei kontaktlosen Steuer- oder Signalsystemen kann man zweckmäßigerweise zwischen informationsverarbeitendem Teil (Logikfunktion) und leistungsverarbeitendem Teil (Leistungsfunktion) unterscheiden. Die Ausgänge des informationsverarbeitenden Teiles müssen verstärkt werden, da die Informationsverarbeitung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen (geringer Energieverbrauch, kleine Bauweise u. ä.) auf niedrigem Leistungsniveau durchgeführt wird. Der Leistungsteil besteht im allgemeinen aus dem Leistungstransistor und dem zu schaltenden Objekt (Signallampe, Hupe, Magnetventil u. ä.). Man kann nun die Stromversorgung, sofern es zweckmäßig erscheint, für den informationsverarbeitenden Teil und den leistungsverarbeitenden Teil trennen. Die Informationsverarbeitung benötigt, wie bei allen ähnlichen kontaktlosen Systemen, zwei Spannungen, die meistens symmetrisch sind. Die positive Spannung dient dabei im wesentlichen zur Temperaturstabilisierung der Germaniumtransistoren. Die negative Spannung ist die eigentliche Arbeitsspannung, an der wahlweise auch der Leistungsteil liegen kann. Entsprechend wird die positive Seite der Spannungsversorgung im Verhältnis 1:5 bis 1:100 weniger belastet. Die Bilder 10 bis 12 zeigen die drei zweckmäßigen Schaltungen der Stromversorgung. In Bild 10 haben Logikfunktionen und Leistungsfunktionen dieselbe Stromversorgung (A, B). Diese Lösung ist die wirtschaftlichste, wenn die zu schaltenden Objekte keine eigene andere Stromversorgung benötigen. Bild 11 zeigt, wie man durch einfaches Aufstocken der Stromquelle A mit einer Stromquelle C auf eine höhere Spannung für die Leistungsfunktionen gelangt. In Bild 12 haben die Leistungsfunktionen ihre eigene negative Stromquelle D. Während an die Stromquellen A und B für die Logikfunktionen bestimmte Anforderungen gestellt werden (Spannungsschwankungen  $< \pm 10\%$ , Restwelligkeit  $\leq 5\%$ , kleiner Innenwiderstand), ist die Ausbildung der Stromquellen C und D weitgehend flexibel. Von seiten der Leistungsfunktionen werden keine Anforderungen an Restwelligkeit und Innenwiderstand ge-



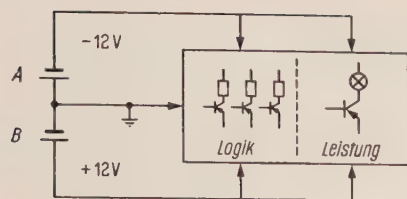


Bild 10 Gleiche Stromversorgung für Logik- und Leistungsfunktion

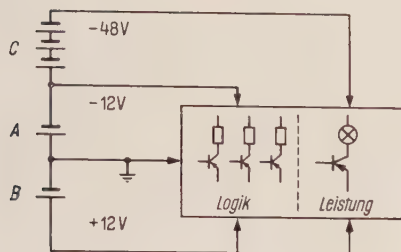


Bild 11 Erhöhung der Spannung für Leistungsfunktion durch Aufstocken

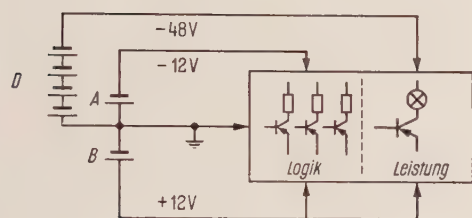


Bild 12 Eigene Stromversorgung für Leistungsfunktion

stellt. Die Spannung selbst muß lediglich unter einem Größtwert bleiben, der vom Endtransistor abhängt.

In den Bildern 10 bis 12 liegt jeweils das Nullpotential an Erde. Diese Maßnahme ist z. B. beim Prozeß-Signalsystem für eigensichere Signalisierung erforderlich.

Beim Entwurf einer Anlage hat man für die Stromquellen die Wahl zwischen Batterie und Netzgeräten. Für Steuerungs- und Signalisierungsaufgaben wird man gepufferten Batteriebetrieb verwenden, wenn die Anlage bei Netzausfall oder kurzen Netzstörungen betriebsfähig bleiben soll. Andernfalls reichen als Stromquellen auch Netzgeräte. Man sollte jedoch berücksichtigen, daß sowohl in der Relais-technik als auch in der Transistortechnik schon kurze Netzausfälle sämtliche Speicher-, Zähl-

und Rechenvorgänge in Unordnung bringen. Bei den Kosten der Anschaffung dürften sich Batterie-Pufferbetrieb oder Netzbetrieb die Waage halten. Netzgeräte sind natürlich bequemer und brauchen in der Regel keine Wartung. Bei Batteriebetrieb ist noch zu erwähnen, daß wegen der unterschiedlichen Entladung die Batterien A, B, C, D in den Bildern 10 bis 12 zweckmäßigerweise getrennt geladen werden.

### Kenndaten

Ähnlich wie in der Relais-technik den Kontakten sind dem Schalttransistor Grenzdaten zugeordnet. Die Überschreitbarkeit dieser Grenzdaten ist beim Schalttransistor geringer als beim Relais. Es gibt verschiedene Signaleinheiten, die sich jedoch lediglich im Leistungstransistor unterscheiden. Es sind Ausführungen für Schaltspannungen von 12 bis 48 V und für Schaltströme von 50 bis 1500 mA vorhanden. Die akustische Einheit gibt es ebenfalls für die gleichen Kenndaten. Müssen die Signaleinheiten Induktivitäten schalten, so ist ein Gleichrichter zum Überspannungsschutz des Leistungstransistors erforderlich.

Die Signaleinheiten sind eingangsseitig durch einen Kondensator gedämpft. Die Ansprechzeit ist so auf etwa  $1/100$  s vergrößert worden, um gegen hochfrequente Störungen sicher zu sein. Werden allerdings kleine Ansprechzeiten gefordert, so kann durch Auslöten des Dämpfungskondensators die Ansprechzeit auf  $< 10^{-4}$  s herabgesetzt werden. Die gleiche Genauigkeit gilt dann auch für die Erstwertauswahl.

### Prüfung des Prozeß-Signalsystems

Besonders wichtig bei einem Signalsystem sind leichtes Prüfen, Fehlererkennen und Fehlerbeseitigen.

Zur Lampenprüfung dient die Prüftaste. Mit einer Prüftaste können beliebig viele Signaleinheiten gleichzeitig geprüft werden. Zum Prüfen werden Leistungstransistoren angesteuert. Das hat den Vorzug, daß die Prüftaste je Signaleinheit nur mit wenigen Milliampere belastet wird. Weiterhin werden die Leistungstransistoren mitgeprüft. Das ist deshalb sinnvoll, weil diese Transistoren durch Überbelastung von außen (Kurzschluß u. ä.) zerstört werden können.

Eine dauernde Lampenprüfung kann man auch erreichen, wenn man die Signallampen im Normalzustand mit dunklem Dauerlicht brennen läßt. Bild 13 zeigt die Schaltung. Der Ausgang A der Signaleinheit SE wird über einen Trimmwiderstand R mit Nullpotential verbunden. Mit dem Trimmwiderstand R wird das Dunkellicht der Signallampe L eingestellt. Die Dunkellicht-Dauerprüfung benötigt allerdings einen großen Aufwand an elektrischer Leistung.

Die Prüfung der Gesamtanlage wird am besten zusammen mit der Prüfung der Grenzwertmelder durchgeführt. So läßt sich der ganze Signalstrang erfassen.

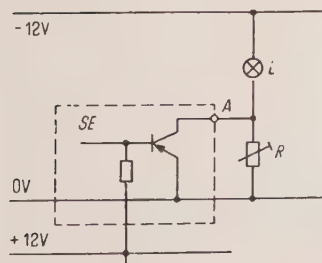


Bild 13 Dunkellicht-Schaltung für Signallampen



## Einbauvorrichtungen für ARDOMETER

VON WERNER HEIMKE

Beim Messen der Temperaturen an Industrieöfen mit dem ARDOMETER\* sind An- und Einbauvorrichtungen für ortsfeste oder bewegliche Montage erforderlich, die das Meßgerät sowohl gegen die Einwirkungen der Umgebung schützen als auch eine einwandfreie Messung sicherstellen. Wegen der rauen Betriebsverhältnisse in Eisen-Hüttenwerken, in Gas-, Glas- und anderen Betrieben müssen diese Zusatzgeräte gut gekapselt und korrosionsfest sein. Staub, Schmutz, aggressive Gase und hohe Temperaturen erfordern robuste Konstruktionen. Das gilt vor allem auch für das Messen der Temperaturen am Gewölbe von Siemens-Martin-Öfen oder von Glaskchmelzöfen.

Für die einzelnen Anwendungsgebiete haben sich als zweckmäßig erwiesen:

Anbauohre zum Befestigen des ARDOMETER und zum Anvisieren der Meßstelle, z. B. bei kleineren Glüh- und Härteöfen

Anbauohre zum Messen der Gewölbetemperatur am Siemens-Martin-Ofen. Das ARDOMETER ist auf einem Schlitten verstellbar angeordnet.

Anbauohre mit wassergekühltem Visierrohr zum Befestigen des ARDOMETER und zum Anvisieren der Meßstelle, z. B. am Stoßofen

Anbauarmaturen mit Glührohr, z. B. für Tieföfen und Salzbad-Härteöfen

Durch den festen Anbau des ARDOMETER an die Anbauohre ist ein gleichbleibender Abstand zwischen Linse und Strahlen-Eintrittsöffnung gewährleistet. Die Abmessungen der Rohre werden so gewählt, daß die Beziehung gilt:

Vorderkante ARDOMETER bis Vorderkante Anbauohr  
Lichte Weite des Einbauohres

$$= \frac{a}{d} \left( \text{i. a. } \frac{20}{1} \right)$$

Bei einem Abstand von  $a = 1000$  mm beträgt der notwendige Anbauohr-Durchmesser 50 mm.

Der für richtige Temperaturmessungen erforderliche Durchmesser des Strahlers in Abhängigkeit von dessen Entfernung von der Objektivlinse ist in Tafel 1 angegeben.

Die Anbauohre aus Stahl sind mit einem Kniehebel-Schnellverschluß ausgerüstet. Dieser Verschluß macht es möglich, das ARDOMETER zum Reinigen der Objektivlinse schnell abzunehmen und wieder anzusetzen. Neben dem Kniehebelverschluß befindet sich seitlich ein Luftzuführungsstutzen, durch den gefilterte Spülluft eingeführt werden kann (Bild 1). Die Spülluft verhindert

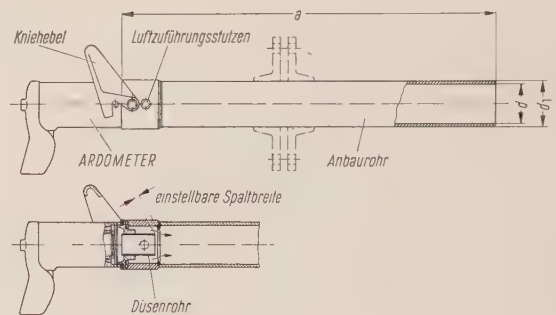


Bild 1 ARDOMETER mit Anbauohr

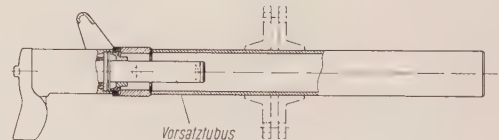


Bild 2 ARDOMETER mit Vorsatzhubus und Anbauohr

Entfernung Objektivlinse-Strahler mm	Strahlerdurchmesser für ARDOMETER 180/20 mm
300	33
500	33
800	42
1000	50
1200	60
1500	75
1700	85
2200	100
2500	125

Tafel 1 Für richtige Temperaturmessung erforderlicher Durchmesser des Strahlers in Abhängigkeit von dessen Entfernung von der Objektivlinse

\* Eingetragenes Warenzeichen



eine Verunreinigung der Linse. Der Luftdurchfluß läßt sich vergrößern oder verkleinern. Hierfür ist am Anbaurohr ein verschiebbares Düsenrohr mit Düsenflansch eingebaut (Bild 1, unten). Nach Lösen von zwei Befestigungsschrauben kann die gewünschte und notwendige Spaltbreite eingestellt werden.

Beim Anvisieren und Messen kleinerer Strahler wird das ARDOMETER mit einem Vorsatztubus für ein Distanzverhältnis von 50 : 1 an das Visierrohr angesetzt (Bild 2). Der Vorsatztubus hat den gleichen Durchmesser wie das Düsenrohr. Er läßt sich durch das Loch des Düsenbleches einführen. Der entstandene Ringspalt bewirkt eine gute Bespülung der Linse.

Wassergekühlte Anbaurohre werden bei besonders hohen Ofentemperaturen verwendet (Bild 3). Mit einem Zuflußrohr von 1/2" lichter Weite wird das Kühlwasser bis zur heißesten Stelle des Visierrohres herangeführt. Durch einen zweiten, um 180° versetzten Anschlußstutzen kann das Kühlwasser abfließen. Die Anbaurohre mit und ohne Wasserkühlung werden in den meisten Fällen an den jeweiligen Einbaustellen mit Flanschen befestigt (Bild 4).

Als zweckmäßig hat sich eine Montage unter einem Winkel von etwa 30° schräg nach oben oder unten erwiesen. Beim Einbau »schräg nach oben« muß das Kühlwasser von unten zufließen und von der höchsten Stelle mit dem Innenrohr abgeführt werden. Es können sich dadurch an der gefährdeten Stelle oben keine Luftblasen aus dem Wasser absetzen. Dagegen liegt beim Einbau »Visierrohr nach unten«, das Innenrohr an der unteren Seite am Zuflußstutzen. Der Abflußstutzen ist wieder oben. In manchen Fällen ist es nicht erforderlich, den Kühlmantel durch das ganze Mauerwerk hindurchzuführen. Dann reicht ein Anbaurohr mit kurzem Kühlmantel aus. Dieser Kühlmantel liegt außerhalb der Ofenwand und wird infolgedessen nicht zusätzlich erwärmt (Bild 5).

Am Siemens-Martin-Ofen scheiterte eine Temperaturmessung mit Hilfe des ARDOMETER früher oftmals daran, daß die Meßöffnung allmählich zuwuchs, weil flüssiges Gestein der Gewölbe-Ausmauerung herabtropfte. Das Schauloch verengte sich mit der Zeit mehr und mehr. Es ergaben sich Meßfehler, und eine kontinuierliche Regelung der Luft- und Brennstoffzufuhr nach der Gewölbetemperatur war nicht möglich. In neuerer Zeit haben sich Anbaurohre ohne Wasserkühlung bewährt, die auf einer Verstellereinrichtung in einem gewissen Abstand von der Ofenwand frei montiert sind (Bild 6). Die ARDOMETER-Verstellereinrichtung ist auf zwei kräftigen U-Schienen geführt, die an ihren beiden Enden mit den Trägern der Ofenwand verschraubt oder verschweißt werden können (s. Bild 6). Zwischen diesen Schienen läßt sich ein Schlitten hin- und herschieben. Mit einem griffgerecht liegenden Klemmhebel werden der Schlitten und ein in der Höhe verstellbares Rohr an den beiden U-Schienen

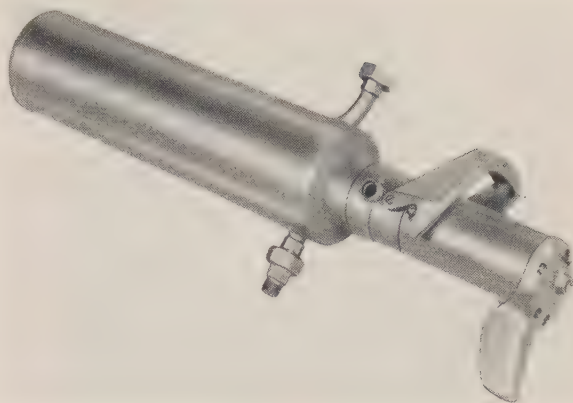


Bild 3 ARDOMETER mit wassergekühltem Anbaurohr

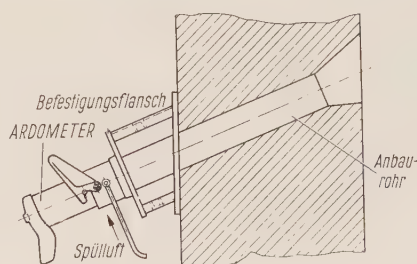


Bild 4 Schräger Anbau eines ARDOMETER am Ofen

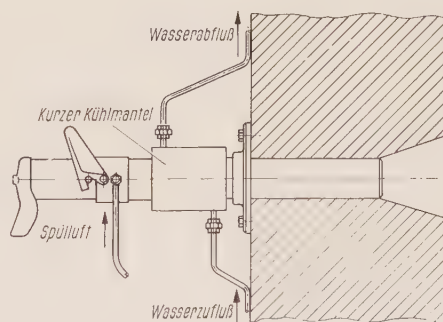


Bild 5 ARDOMETER an einem Anbaurohr mit kurzem Kühlmantel

festgemacht. Das Verstellrohr trägt das ARDOMETER mit dem Anbaurohr und einem Schutzblech auf einem Kugelgelenk. Mit Hilfe dieses nach allen Seiten schwenkbaren Gelenkes ist es möglich, mit dem ARDOMETER jede beliebige Stelle des Ofengewölbes anzuvisieren. Durch seitliches Verschieben des ARDOMETER wird die Ofenöffnung frei. Sie kann mit einer Eisenstange von dem herabtropfenden Gestein freigestoßen und vom Schmutz gesäubert werden. Die vordere U-Schiene trägt eine Kabelanschlußdose für den Anschluß der elektrischen Zuleitungen zum ARDOMETER.



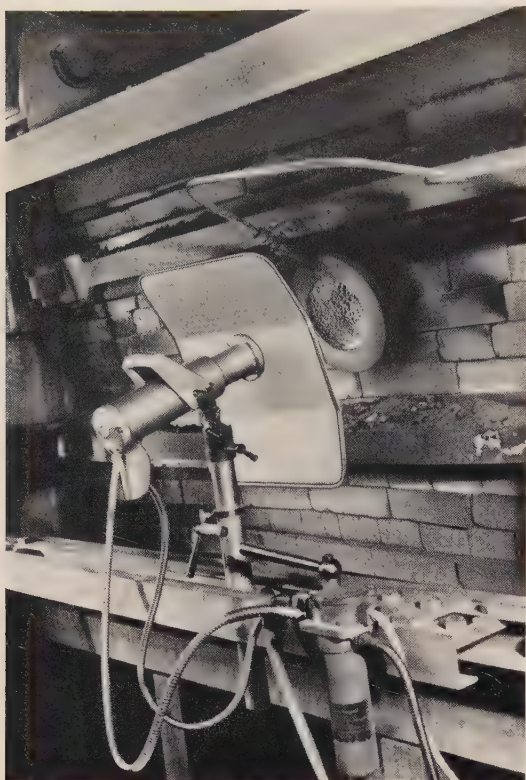


Bild 6 ARDOMETER-Verstelleinrichtung an einem Siemens-Martin-Ofen

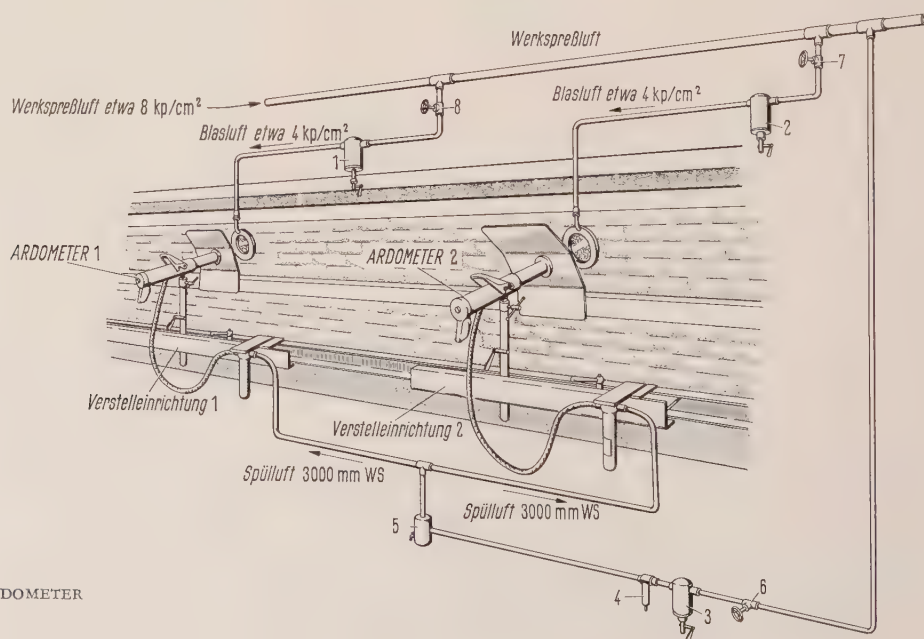
Als Meßgeber für die Regelung der Temperatur und der Verbrennung werden beim Siemens-Martin-Ofen in der Regel zwei ARDOMETER, eins für jede Ofenseite, verwendet. Jeder ARDOMETER-Meßstelle wird zum Schutz

des Gerätes sorgfältig gereinigte Luft zugeführt. Meistens wird Werkpreßluft verwendet und durch eine Düse in die Ofenöffnung hineingeblasen. Dadurch wird ein Herausströmen der heißen Ofengase verhindert.

Vor dem Gebrauch wird die Luft mit handelsüblichen Wasserabscheidern, die mit Aktiv-Kohle gefüllt sind, von Wasser und Öl gereinigt. Wasserabscheider, Luftfilter und die außerdem notwendigen Drosselventile werden am besten unterhalb der Ofenbühne angeordnet. Die Spülluft bleibt dann verhältnismäßig kühl (Bild 7).

Anstelle der Werkpreßluft kann auch Ventilatorluft als Blasluft verwendet werden. Sie wird zweckmäßigerweise durch einen größeren Luftzuführungs-Stutzen (des Anbaurohres) in das Ofenloch geblasen und deshalb über einen beweglichen Metallschlauch zugeführt. Vor der Öffnung des Anbaurohres ist eine drehbare Klappe angeordnet, die durch den Luftstrom nach oben gedrückt wird. Fällt die Blasluft infolge einer Störung aus, so schließt die Klappe durch ihr Eigengewicht die Öffnung. Dadurch ist die ARDOMETER-Linse gegen Ofenauswurf und heiße Gase geschützt.

Im allgemeinen werden die hohen Temperaturen im Ofen (etwa 1300 °C) mit Platin-Thermoelementen gemessen. Die Lebensdauer der Thermoelemente ist meistens gering, so daß sie in Abständen von acht bis zehn Wochen ausgewechselt werden müssen. An Tiefofen sind neuerdings mit Erfolg ARDOMETER, und zwar solche mit angebaurem Glührohr (Bilder 8 bis 10), verwendet worden. Versuche haben ergeben, daß die Genauigkeit von Messungen, zu denen ARDOMETER mit Glührohr verwendet wurden, der Genauigkeit von Thermoelement-Messungen gleichwertig ist. Wegen ihrer längeren Lebensdauer ist



- 1, 2, 3 Wasserabscheider mit Aktivkohlefüllung
- 4 Schumacherfilter mit Keramikeinsatz
- 5 Wassersack
- 6, 7, 8 Drosselventil

Bild 7 Gesamtanordnung zweier ARDOMETER am Siemens-Martin-Ofen



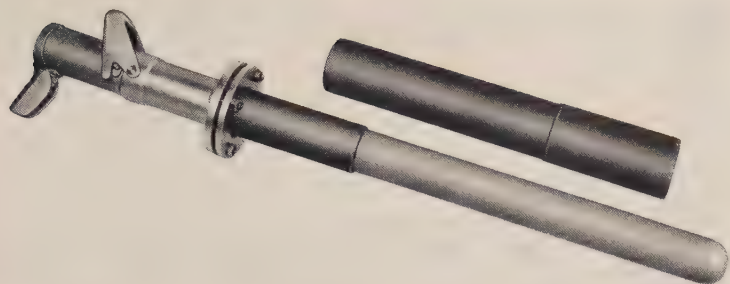


Bild 8 ARDOMETER mit Glührohr zur Temperaturmessung am Tiefofen

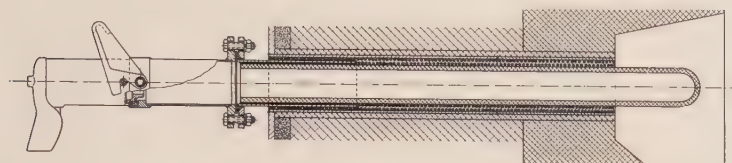


Bild 9 Temperatur-Meßstelle mit ARDOMETER und Glührohr am Tiefofen

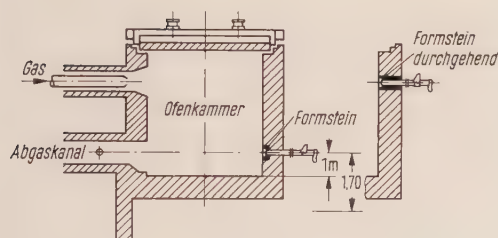


Bild 10 Anordnung von Temperatur-Meßstellen mit ARDOMETER am Tiefofen

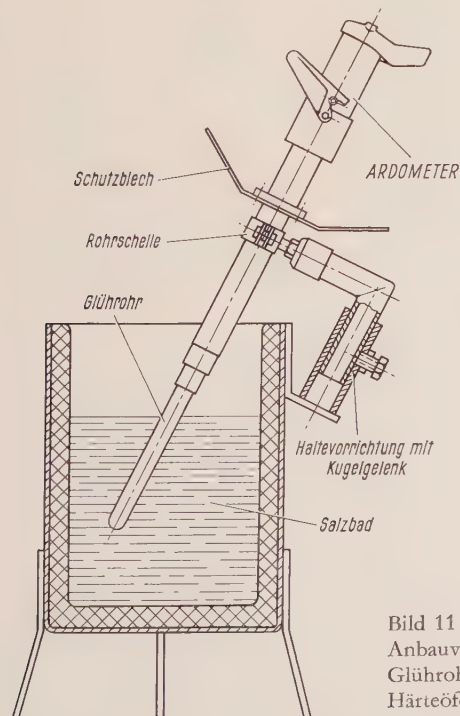


Bild 11 ARDOMETER-Anbauvorrichtung mit Glührohr für Salzbad-Härteöfen

es weitaus wirtschaftlicher, als Meßgeber für die Regelung der Brennstoffzufuhr nach der Ofentemperatur ARDOMETER mit Glührohr einzusetzen. Die zweckmäßigste Anordnung der Meßstellen ergibt sich aus den Bildern 9 und 10, die auch den Formstein erkennen lassen. Zur Anbauvorrichtung mit Glührohr gehören: das ARDOMETER mit Ansatzrohr und Kniehebel-Befestigung, ein Glührohr mit eingekittetem Befestigungsrohr und ein Einbaurohr aus Eisen oder warmfestem Stahl.

Das ARDOMETER gibt bei einem Meßbereich von 700 bis 1400 °C eine Meßspannung von 10 mV ab. Das Glührohr aus Silicium-Carbid hat einem bei Innendurchmesser von 50 mm eine Wanddicke von 10 mm. Zum Befestigen des Glührohres an das Anbaurohr mit ARDOMETER ist auf sein offenes Ende ein Stahlflansch aufgekittet.

Damit das Glührohr vor der Wärmeausdehnung der Ofenwände geschützt ist, wird in das Visierloch von etwa 120 mm Durchmesser ein Eisenrohr von 100 mm Außendurchmesser eingeschoben. Der vordere Teil des Rohres besteht aus warmfestem Stahl, der hintere aus handelsüblichem Stahl. Zum festen Abschluß am Formstein umwickelt man das gesamte Rohr mit einer Asbestschnur, die mit Glasfasern durchwirkt ist. Bei ölbeheizten Tiefofen liegt die Meßstelle etwa 4 m über der Sohle der Ofenkammer.

ARDOMETER mit Glührohr können in ähnlicher Weise auch für die Temperaturmessung in Salzbad-Härteöfen verwendet werden (Bild 11). Auch hier ist das ARDOMETER mit einem Schild vor der Wärmestrahlung geschützt. Es ist zweckmäßig, die Anbauvorrichtung nach oben und unten verschiebbar seitlich anzuordnen.

Man kann erwarten, daß sich überall, wo hohe Temperaturen betriebsmäßig zu messen sind, weitere Anwendungsfälle für das ARDOMETER ergeben werden, das bis zu einer Betriebstemperatur von 180 °C kompensiert ist. In den Betrieben der Eisen-Hüttenwerke, der Flachglas- und der Hohlglas-Industrie, aber auch der Glühereien und Härtereien, ist noch eine Reihe von pyrometrischen Aufgaben zu lösen, die neben hoher Genauigkeit vor allem auch Betriebssicherheit und Unempfindlichkeit gegenüber vorübergehenden Erschütterungen verlangen. Immer dann – so lehrt die Erfahrung – wird das Strahlungs-pyrometer dem Thermo-element überlegen sein, wenn bei hohen Temperaturen mit unerwarteten Temperaturspitzen zu rechnen ist, die den zugestandenen Betriebsbereich der Thermo-elemente und der Thermo-element-Schutzrohre übersteigen.



## Schnellumschaltgerät für Hochspannungsanlagen

VON HELMUT LEIBOLD

Für Eigenbedarf-Schaltanlagen in Dampfkraftwerken und für viele andere wichtige Verbraucheranlagen werden meistens mehrere, voneinander möglichst unabhängige Einspeisungen vorgesehen. Diese werden allgemein so bemessen, daß eine davon ausreicht, den gesamten Energiebedarf zu decken, während die anderen als Reserve zur Verfügung stehen. Damit Störungen an den gerade eingeschalteten Einspeisungen möglichst keine Unterbrechung des Betriebes zur Folge haben, werden fast überall selbsttätige Einrichtungen eingebaut, die dann eine »gesunde« Einspeisung zuschalten. Derartige Umschaltautomatiken sollen nicht nur bei Störungen in Tätigkeit treten, sondern auch für willkürliche Umschaltungen verwendet werden können. Bei einem Dampfkraftwerk in Blockanordnung muß z. B. der gesamte Eigenbedarf eines Blockes nach dem Anfahren und vor dem Abstellen umgeschaltet werden.

Charakteristisch für die meisten Anlagen ist, daß wegen der Belastung mit überwiegend motorischen Ver-

brauchern die Spannung an der umzuschaltenden Schiene nicht sofort nach Auslösen des bisher eingeschalteten Einspeiseschalters ganz zusammenbricht, sondern in ihrer Höhe und Frequenz mit bestimmter Geschwindigkeit abklingt [1], die von verschiedenen Faktoren, z. B. der Belastung, Größe und Bauart der Motoren u. dgl., abhängt.

Um ein stärkeres Abfallen der Motordrehzahl und den dadurch bedingten hohen und langen Anlaufstrom beim Zuschalten der Reservestromquelle zu unterbinden, sollte die Umschaltzeit so kurz wie möglich sein. Hierbei ist aber zu beachten, daß die meisten Motoren so ausgelegt sind, daß die maximale Querspannung (Differenzspannung zwischen der Spannung der einzuschaltenden Einspeisung und der Schienenspannung) nicht höher als 125% der Nennspannung sein darf. Daraus ergibt sich, daß man entweder abwarten muß, bis die Spannung an der sich zunächst selbst überlassenen Schiene (im folgenden mit »Restspannung«  $U_R$  bezeichnet) auf einen unbedenklichen Wert abgeklungen ist und dann die Einschaltung des anderen Schalters herbeiführt, oder man vergleicht die Vektorlage der Restspannung mit dem Vektor der Spannung vor dem einzuschaltenden Schalter und gibt nach Prüfung aller sonst noch wichtigen Bedingungen den Einschaltbefehl zu einem Zeitpunkt, in dem mit Sicherheit keine größere Differenzspannung aus Reservespannung und Restspannung als 125% der Nennspannung auftritt.

Bei Verwendung von Leistungsschaltern mit kurzen Ein- und Ausschaltzeiten gelingt es mit einem Schnellumschaltgerät (Bild 1), die Zuschaltbedingungen innerhalb kürzester Zeit (maximal etwa 10 ms) auszumessen und, wenn die Voraussetzungen für die Zuschaltung erfüllt werden, den Einschaltbefehl praktisch ohne weiteren Zeitverzug zu geben.

Das Verhalten von Motoren und Motorengruppen in Kraftwerkeigenbedarf- und Industrieanlagen bei Umschaltungen wurde schon in früheren Veröffentlichungen [1, 2] eingehend untersucht; auch die Umschaltbedingungen wurden näher behandelt. Es soll hier nur so weit auf diese Gegebenheiten eingegangen werden, wie es zur Erläuterung der Wirkungsweise des von den Siemens-Schuckertwerken entwickelten Schnellumschaltgerätes erforderlich ist.

### Meßtechnische Lösung

Das Schnellumschaltgerät soll in erster Linie innerhalb kürzester Zeit messen, ob die Vektoren der beiden zu

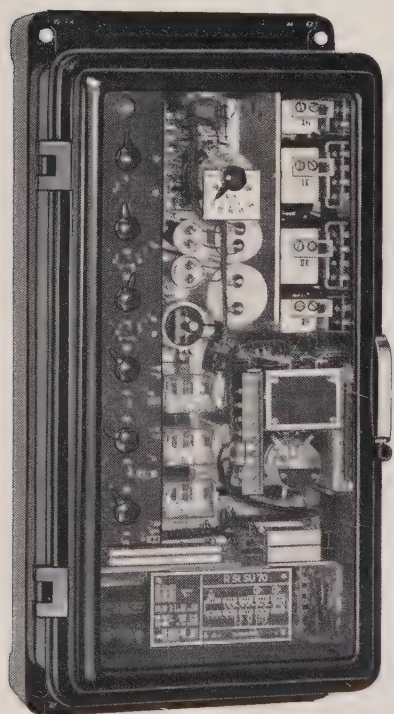


Bild 1 Schnellumschaltgerät R St SU 70



vergleichenden Spannungen, das ist einerseits die Spannung an der umzuschaltenden Schiene und andererseits die Spannung vor dem einzuschaltenden Schalter, in ihrer Phasenlage nicht zu weit voneinander abweichen und ob der Frequenzunterschied noch in zulässigen Grenzen liegt. Mit Rücksicht auf die erforderliche Meß- und Schaltgeschwindigkeit scheiden die bei Parallelschaltgeräten [3] üblichen Meßmethoden aus. Bild 2 zeigt die grundsätzliche Meßschaltung; die Wirkungsweise der Winkelmessung ist dabei folgende: Die beiden zu vergleichenden Spannungen sind  $U_1$  bzw.  $U_2$  und  $U_R$  (vgl. Bild 5). Der Einfachheit halber wird nachfolgend immer angenommen, daß von Schalter 1 nach Schalter 2 umgeschaltet wird, die Winkelmessung also zwischen  $U_2$  und  $U_R$  stattfindet. Diese Spannungen liegen nach Anregung des Gerätes an den Zwischenwandlern  $Tr\ 1$  und  $Tr\ 2$ .

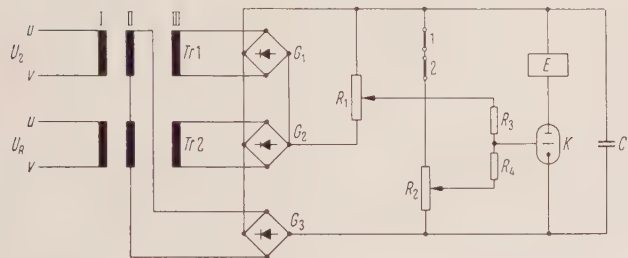


Bild 2 Meßschaltung in vereinfachter Darstellung

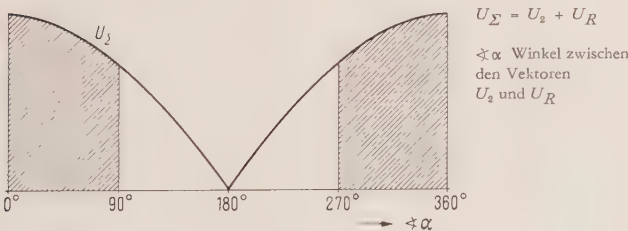
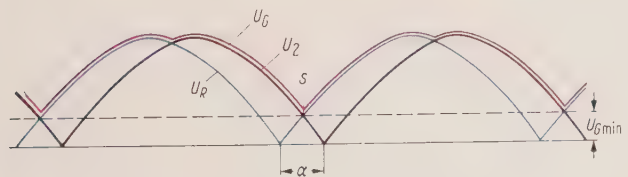


Bild 3 Gleichgerichtete Summenspannung zur Erzeugung der Anodenspannung



$U_2$  Spannung vor dem einzuschaltenden Schalter (Vergleichsspannung)  
 $U_R$  Spannung an der Schiene (Restspannung)  
 $U_G$  Winkelabhängiger Gegenspannungsverlauf  
 $\alpha$  Winkel zwischen den Vektoren  $U_2$  und  $U_R$  bei Schnittpunkt  $S$  auf dem eingestellten Wert  $U_{G\ min}$  und voller Spannung  $U_2$  und  $U_R$

Bild 4 Verlauf der winkelabhängigen Gegenspannung

Die Wicklungen II der Zwischenwandler  $Tr\ 1$  und  $Tr\ 2$  sind in Reihe geschaltet und liefern, gleichgerichtet über  $G\ 3$ , die Anodenspannung für die Kaltkathodenröhre  $K$  und die Starterspannung, die am Widerstand  $R\ 2$  abgegriffen wird. Bild 3 zeigt den grundsätzlichen Verlauf dieser gleichgerichteten Schwebungsspannung. Durch entsprechendes Auslegen der Zwischenwandler  $Tr\ 1$  und  $Tr\ 2$  wird erreicht, daß nur im schraffierten Bereich eine ausreichend hohe Anodenspannung erzeugt wird und damit eine Schaltung möglich ist.

Die Wicklungen III der Zwischenwandler  $Tr\ 1$  und  $Tr\ 2$  speisen die Gleichrichter  $G\ 1$  und  $G\ 2$ , die parallel geschaltet sind. Am Widerstand  $R\ 1$  tritt eine in Abhängigkeit vom Phasenwinkel pulsierende Gleichspannung auf, die entsprechend Bild 4 verläuft. Diese Spannung wird als Gegenspannung  $U_G$  dem Starter der Röhre zugeführt. Wenn beide Schalter ausgeschaltet sind, wird durch deren Meldeschalter 1 und 2 an den Starter der Röhre die am Widerstand  $R\ 2$  abgegriffene Zündspannung gelegt. Die am Widerstand  $R\ 1$  abgegriffene »Gegenspannung« liegt schon vorher am Starter der Röhre. Zum Zünden der Röhre kommt es nur, wenn die Gegenspannung einen Wert  $U_{G\ min}$  unterschreitet, der am Widerstand  $R\ 1$  eingestellt werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn der Winkel zwischen den beiden zu vergleichenden Vektoren einen bestimmten Wert nicht überschreitet, d. h., wenn der Schnittpunkt  $S$  in Bild 4 unter den eingestellten Wert  $U_{G\ min}$  sinkt.

Im Gebiet der Phasenopposition stellen sich die gleichen Verhältnisse ein. Hier kommt es dennoch nicht zum Zünden der Röhre, da, wie bereits erwähnt, keine ausreichende Anodenspannung zur Verfügung steht. Bild 4 läßt erkennen, daß bei dem gewählten Meßverfahren nach Freigabe der Messung und Vorliegen der Einschaltbedingungen für die Messung höchstens nur etwa die Zeit einer Halbwelle, also etwa 10 ms, benötigt wird. Die Meßungenauigkeit beträgt dabei im Mittel etwa  $\pm 5^\circ$ . Mit abnehmender Restspannung wird der am Gerät eingestellte Schaltwinkel etwas gespreizt.

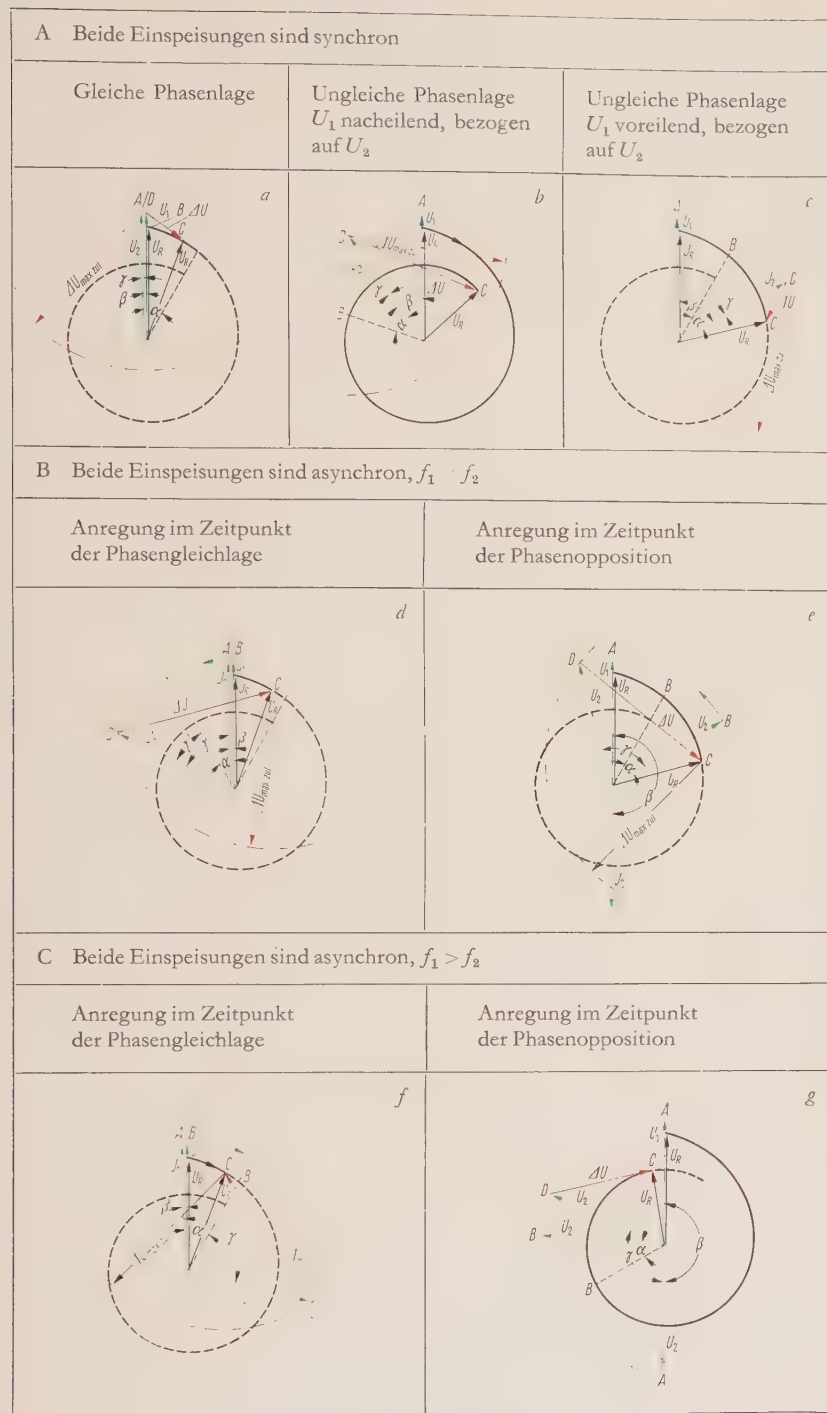
Bei nicht sinusförmigen Spannungen entstehen Zusatzfehler, die aber im allgemeinen nicht störend in Erscheinung treten. Wenn stets mit etwa der gleichen Abweichung der Kurvenform zu rechnen ist, läßt sich dieser Zusatzfehler durch eine andere Winkeleinstellung ausgleichen.

### Betriebszustände bei einer Umschaltung

Aus den schon erwähnten Gründen sollen alle Umschaltungen in kürzester Zeit durchgeführt werden, sofern die Bedingung ausreichender Phasengleichheit erfüllt ist. Bei willkürlich eingeleiteten Umschaltungen besteht die Möglichkeit, die wesentlichen Voraussetzungen für eine Schnellumschaltung vorher durch Zusatzgeräte zu prüfen und die Umschaltung freizugeben oder zu sperren. Die Fälle, in denen eine Schnellumschaltung nicht zu-







Bei der Schaltungsanordnung nach Bild 5 gilt:  
 $U_1$  Spannung vor Schalter 1  
 $U_2$  Spannung vor Schalter 2  
 $U_R$  Spannung an der Schiene (Restspannung)  
 $\Delta U$  Differenzspannung  $U_2 - U_R$  (Querspannung)

$\alpha$  Winkel zwischen den Vektoren  $U_2$  und  $U_R$ , bei dem ein Einschaltbefehl gegeben werden darf (hier mit  $+30^\circ$  angenommen)  
 $\beta$  Winkel zwischen den Vektoren  $U_1$  und  $U_2$  im Zeitpunkt der Abschaltung ( $A$ )  
 $\gamma$  Winkel, den der Vektor  $U_2$  zwischen den Zeitpunkten  $A$  und  $D$  zurücklegt oder zurücklegen darf

$A$  Öffnen der Kontakte des Schalters 1  
 $B$  Beginn der Einschaltung des Schalters 2

$\Delta U_{\max \text{ zul}}$  Höchste zulässige Differenzspannung (mit 125% angenommen)  
 $f_1$  Frequenz von  $U_1$   
 $f_2$  Frequenz von  $U_2$   
 $\Delta f_{\max \text{ zul}}$  Höchster zulässiger Frequenzunterschied bei dem gerade betrachteten Fall

$C$  Berührung der Kontakte des Schalters 2  
 $D$  Lage des Vektors  $U_2$  im Zeitpunkt  $C$

Tafel 1 Spannungsverhältnisse bei verschiedenen Betriebszuständen

auf, die Verhältnisse sind günstig, die Umschaltzeit ist hierbei am kürzesten.

Zu *b* Hier ist angenommen, daß der Vektor  $U_2$  gegenüber  $U_1$  um etwa  $35^\circ$  ( $\neq \beta$ ) voreilend verschoben ist, so daß eine sofortige Schaltung nicht zustande kommen kann. Die Einschaltung wird erst nach Annäherung des Vektors  $U_R$  bis auf etwa  $35^\circ$  ( $\neq \alpha$ ) in Punkt *B* freigegeben. Bei der immer größer werdenden Geschwindigkeit des Vektors  $U_R$  schließt der Schalter 2 etwa in Punkt *C*. Die Querspannung  $\Delta U$  beträgt hier etwa 110%.

Zu *c* Der Vektor  $U_2$  ist in diesem Beispiel gegenüber  $U_1$  um etwa  $60^\circ$  ( $\neq \beta$ ) nacheilend verschoben, so daß eine sofortige Schaltung nicht möglich ist. Die Einschaltung wird erst nach Annäherung von Vektor  $U_R$  an  $U_2$  bis auf  $30^\circ$  ( $\neq \alpha$ ) in Punkt *B* freigegeben. Der Schalter schließt in Punkt *C*, die Querspannung beträgt etwa 35%. Die Umschaltzeit ist etwas länger als im Fall *a*.

Zu *d* In diesem Fall ist angenommen, daß  $f_1 < f_2$  und die Anregung etwa bei Phasengleichlage geschieht. Ein Einschaltbefehl kommt sofort zustande, während der Einschaltzeit darf der Vektor  $U_2$  so weit wegdrehen, daß  $\Delta U \leq \Delta U_{\max \text{ zul}}$  bleibt. Da ein Einschaltbefehl auch noch innerhalb des  $\neq \alpha$  zwischen  $U_2$  und  $U_R$  möglich wäre, darf

$$\gamma' = \gamma - \alpha \leq 75^\circ - 30^\circ = 45^\circ$$

maximal sein. Daraus ergibt sich für diesen Fall ein maximal zulässiger Frequenzunterschied zwischen  $f_1$  und  $f_2$  von

$$\Delta f_{\max \text{ zul}} = \frac{\gamma'}{360^\circ t_E} \approx \frac{45^\circ}{360^\circ \cdot 0,1 \text{ s}} \approx 1,25 \text{ Hz}$$

Zu *e* Hier ist (wie im Fall *d*)  $f_1 < f_2$ , die Anregung geschieht aber bei Phasenopposition. Ein Einschaltbefehl kommt erst zustande, wenn sich die Vektoren  $U_2$



und  $U_R$  bis auf den  $\alpha$  genähert haben. Es wird zunächst angenommen, daß der Vektor  $U_R$  nach  $B$  läuft, bis er sich dem entgegengesetzt rotierenden Vektor  $U_2$  bis auf  $30^\circ$  ( $\alpha$ ) genähert hat. In  $B$  wird der Einschaltbefehl gegeben, bis zum Schließen des Schalters 2 wandern  $U_R$  bis Punkt  $C$  und  $U_2$  bis  $D$ .

Bei diesem Beispiel darf also ein maximaler Frequenzunterschied von

$$\Delta f_{\max \text{ zul}} = \frac{\gamma}{360^\circ t_E} \approx \frac{75^\circ}{360^\circ \cdot 0,1 \text{ s}} \approx 2,1 \text{ Hz}$$

zwischen  $f_1$  und  $f_2$  bestehen.

Wenn die Anregung zu einem früheren Zeitpunkt kommt, so daß  $U_2$  und  $U_R$  einen größeren Weg zurücklegen müssen, wird der höchste zulässige Frequenzunterschied etwas kleiner, weil der Vektor  $U_R$  mit zunehmender Geschwindigkeit wegläuft.

Zu  $f$  Im Gegensatz zu  $d$  und  $e$  ist hier  $f_1 > f_2$ , die Anregung geschieht etwa bei Phasengleichlage, ein Einschaltbefehl kommt sofort zustande. Während der für das Schließen der Schalterkontakte notwendigen Zeit darf der Vektor  $U_2$  höchstens um den  $\gamma \approx 120^\circ$  weglaufen.

Dementsprechend ergibt sich hier:

$$\Delta f_{\max \text{ zul}} \approx \frac{120^\circ}{360^\circ \cdot 0,1 \text{ s}} \approx 3,3 \text{ Hz}$$

Zu  $g$  Hier liegen die Verhältnisse ähnlich wie im Fall  $f$ ; die Anregung kommt etwa bei Phasenopposition. Da  $f_1 > f_2$ , läuft Vektor  $U_R$  dem in gleicher Richtung (im Uhrzeigersinn) davonlaufenden Vektor  $U_2$  nach. Es kann hierbei vorkommen, daß bis zur genügenden Annäherung viel Zeit verstreicht, so daß infolge zu niedriger Spannung nur noch eine Langzeitumschaltung möglich ist.

Im gewählten Beispiel lief der Vektor  $U_2$  in etwa 400 ms um etwa  $95^\circ$ , während sich  $U_R$  in Punkt  $B$  dem Vektor  $U_2$  bis auf etwa  $30^\circ$  genähert hat. Während der Einschaltzeit läuft  $U_2$  um weitere  $20^\circ$ ,  $U_R$  bis  $C$ .

Die erwähnten allgemeinen Fälle bewegen sich in einem mit der gewählten Meßmethode gut beherrschbaren Bereich.

In der Praxis wird man die für die betreffende Anlage ungünstigste Abklingkurve ermitteln und dann unter Berücksichtigung der gezeigten Überlegungen das Schnellumschaltgerät einstellen.

#### Aufbau der Schnellumschalt-Automatik

Bild 7 zeigt den grundsätzlichen Aufbau der Schnellumschaltautomatik. Der Anschluß der Schnellumschaltgeräte ist sehr einfach, da nur die Spannungen der

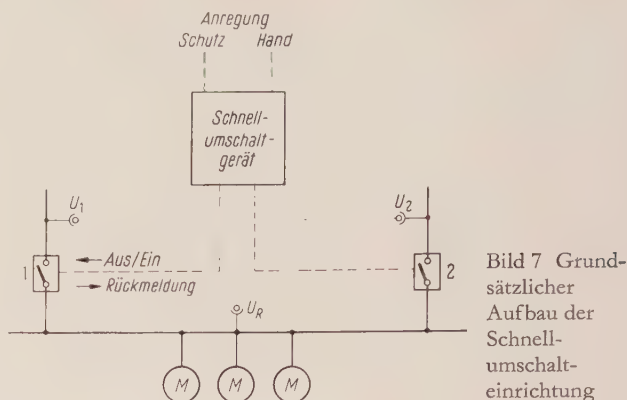


Bild 7 Grundsätzlicher Aufbau der Schnellumschalt-einrichtung

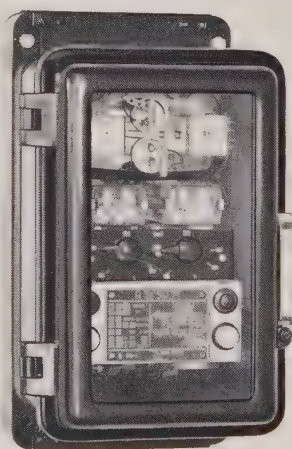
beiden Einspeisungen und der Sammelschiene, die Befehlskontakte für die Ein- und Ausschaltung, die Meldeschalter der Leistungsschalter, die Befehlskontakte der Schutzeinrichtungen, die die Umschaltungen herbeiführen sollen, sowie Anregetasten für die willkürliche Anregung anzuschließen sind.

Eine Hilfsgleichspannung braucht dem Schnellumschaltgerät von außen nicht zugeführt zu werden, weil sie im Gerät selbst erzeugt wird, und zwar immer von dem Spannungswandler der Einspeisung, die als Reserve zur Verfügung steht. Wenn in Störungsfällen die Reservestromquelle bei einem schwerwiegenden Netzfehler kurzzeitig auch auf eine ziemlich tiefe Spannung gesunken sein sollte, kann das Gerät noch mit etwa 70% der Nennspannung sicher angeregt werden.

Das Gerät ist in ein Einheitsgehäuse (EG 14) mit Glasfenster und aufklappbarem Deckel eingebaut.

Für die wichtigsten Schaltfunktionen werden Relais mit Schutzgaskontakten verwendet, die besonders unempfindlich gegen äußere Einflüsse sind und sehr schnell schalten.

Bild 8 Prüfgerät



### Zusatzeinrichtungen

Zum Prüfen der Schalt- und Meßfunktion des Schnellumschaltgerätes und der Anregeschaltung kann ein Prüfgerät (Bild 8) verwendet werden. Es wird über einen Umschalter an die Schnellumschalteneinrichtung angeschlossen und täuscht durch Relais die Leistungsschalter vor. Durch eingebaute Anzeigelampen kann der Schaltungsablauf überwacht werden.

Falls die beiden umzuschaltenden Einspeisungen normalerweise asynchron sind, kann man bei willkürlichen Umschaltungen trotzdem zu kürzesten Umschaltzeiten kommen, wenn das Schnellumschaltgerät im richtigen Zeitpunkt angeregt wird, d. h. etwa bei Phasengleichlage. Damit dies mit ausreichender Sicherheit geschieht, kann man hierfür ein meistens schon vorhandenes Parallelschaltgerät mitbenutzen, das im richtigen Zeitpunkt das Schnellumschaltgerät anregt. Das Parallelschaltgerät kann in der üblichen Form über Synchronisier-Wahlschalter mit einem Steckschlüssel angeschaltet werden.

### Leistungsschalter für Schnellumschaltung

Die Leistungsschalter sollen sehr schnell ein- und auszuschalten sein, damit möglichst in allen Fällen eine Schnellumschaltung ausgeführt werden kann. Die Einschaltzeit sollte nicht mehr als 90 ms betragen, gerechnet vom Beginn der Kommandogabe bis zum Schließen der Schaltstücke, die Ausschaltzeit vom Öffnen der Schalterkontakte bis zum Schließen eines Öffnerhilfskontaktes nicht größer als 60 ms sein. Die beiden Leistungs-

schalter sind grundsätzlich durch Öffnerhilfskontakte gegeneinander zu verriegeln, so daß der »Ein«-Befehl auf den anderen Schalter jeweils erst gegeben werden kann, wenn der andere Schalter mit Sicherheit ausgeschaltet ist. Unabhängig von dieser Verriegelung sind je Leistungsschalter noch ein Schließer- und ein Öffnerhilfskontakt für die Automatik erforderlich. An den Schließerhilfskontakt werden keine besonderen Anforderungen gestellt; der Öffnerhilfskontakt, der die Messung freigibt, sollte möglichst so ausgebildet sein, daß er schon schließt, wenn der Schaltmechanismus in Bewegung gesetzt wird und damit die Sicherheit für das Ausschalten gegeben ist. Dadurch wird die Zeit gewonnen, die bis zum Schließen des normalen Öffnerhilfskontaktes verstreicht, der den anderen Schalter verriegelt. Diese Zeit ist, wenn die Zuschaltbedingungen gegeben sind, ausreichend für eine einwandfreie Messung, so daß für die Messung selbst dann keine zusätzliche Zeit mehr erforderlich ist. An die Ein- und Ausschaltorgane der Schalter werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Bei den üblichen Steuergleichspannungen von 110 oder 220 V soll die Leistungsaufnahme für die Ein- und Ausschaltorgane etwa 100 W nicht überschreiten.

#### Schrifttum

- [1] Fieguth, H.-O.: Umschaltvorgänge in Kraftwerks-Eigenbedarfs- und Industrieanlagen. Siemens-Zeitschrift **26** (1952) 163 bis 166
- [2] Fieguth, H.-O.: Schnellumschaltung in Kraftwerks-Eigenbedarfsanlagen. ETZ-A **74** (1953) 647 bis 650
- [3] Neugebauer, H.: Das Siemens-Parallelschaltgerät. Siemens-Zeitschrift **28** (1954) 155 bis 161

## Ein neues elektronisches Zentralprüfsendergestell für Fernschreibnetze

VON OTTO GEORG UND HANS MITTERER

Auch in der Telegrafie ist das Messen die Grundlage des technischen Fortschrittes und eines einwandfreien Betriebes. Da in der Fernschreibtechnik der Nachrichteninhalte primär in der zeitlichen Aufeinanderfolge bestimmter elektrischer Zustände und nicht in deren Eigenschaften festgelegt wird, sind Fernschreibmeßgeräte ihrer Natur nach Zeitmeßorgane; sie messen kurze Intervalle verschiedener Dauer – meistens auf einen bestimmten Ausgangspunkt bezogen –, also zeitliche Verzerrungen. Auch die Messung des Spielraums einer Fernschreibmaschine ist an und für sich eine solche Verzerrungsmessung.

In Fernschreibsystemen, die nach dem Start-Stop-Prinzip arbeiten, wird vor allem die Bezugverzerrung gemessen. Nach CCITT ist dies die maximale Verzerrung der

Schritteinsätze gegenüber ihren Solleinsätzen, bezogen auf den Beginn des zugehörigen Anlaufschrittes. Der Bezugverzerrungsgrad, der in Prozent ausgedrückt wird und vor- oder nachteilig sein kann, ist ein Maß für die Güte der Übertragung.

Um solche Verzerrungen messen zu können, braucht man Einrichtungen, die einen Text ohne störende Verzerrung oder im Bedarfsfall auch einen Text mit definierter Verzerrung aussenden. Hierfür wurde das neue Zentralprüfsendergestell geschaffen. Es arbeitet weitgehend mit elektronischen Mitteln und hat bei geringer Anforderung an die Wartung eine hohe Genauigkeit und eine lange Lebensdauer. Das Prüfsendergestell ermöglicht an jeder Teilnehmerstelle die Überprüfung des Empfangsspielraums und der Funktionen der



Fernschreibmaschine. Für das Messen der Leitungsverzerrungen und für das Einregeln von Amtseinrichtungen ist es ebenfalls vorgesehen.

### Grundsätzliche Wirkungsweise

Für die Messungen werden Prüftexte zusammengestellt, mit denen sich alle Funktionen der Übertragungs- und Empfangseinrichtungen überprüfen lassen. Es stehen drei verschiedene Texte zur Auswahl:

Maschinenprüftext unverzerrt,  
Leitungsprüftext unverzerrt,  
Leitungsprüftext verzerrt.

Von jeder Teilnehmerstelle eines Fernschreib-Wählnetzes aus kann man sich den gewünschten Prüftext durch Wahl der entsprechenden Rufnummer senden lassen. Für jeden Text stehen 113 Zeichen, einschließlich aller nicht abgedruckten (*B* Buchstabe, *Z* Ziffer, *W* Wagenrücklauf, *Zl* Zeile, *Znr* Zwischenraum), zur Verfügung.

Mit dem Maschinenprüftext wird die Empfängerfunktion einer Fernschreibmaschine geprüft. Er enthält daher die Zeichen in größerer Häufigkeit, die für das richtige Arbeiten des Empfängers wesentlich sind, wie z. B.: Wagenrücklauf, Wechsel von Buchstaben und Ziffern, Zeilenvorschub, Zwischenraum.

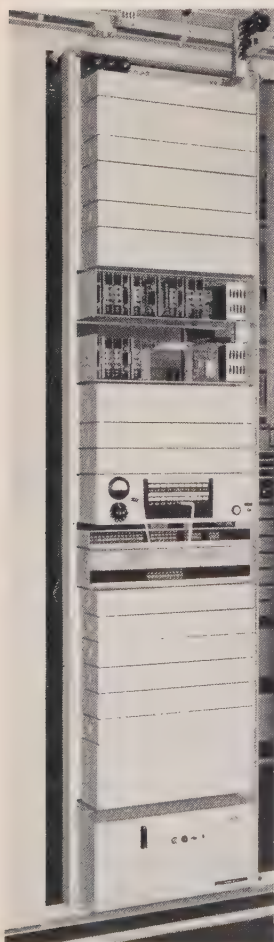


Bild 1 Gesamtansicht des Elektronischen Zentralprüfsendergestells, eingerichtet für eine Fernschreib-Wahlvermittlung TW 39

Der unverzerrte Leitungsprüftext dient bei einer Fernschreibverbindung zum Messen der auftretenden Verzerrungen mit dem Bezugverzerrungsmesser und zum Einregeln der Amts- und Teilnehmer-Einrichtungen. Die Differenz zwischen der gemessenen und der maximal zulässigen Verzerrung gibt ein Maß für die Betriebssicherheit der Leitung.

Mit dem verzerrten Leitungsprüftext läßt sich untersuchen, bis zu welchem Bezugverzerrungsgrad vor- und nachteiliger Richtung die Fernschreibmaschine noch fehlerfrei arbeitet. Dieser Prüftext hat die Verzerrungsstufen 0, 20, 30, 36 und 40%. Die erste Hälfte des Textes ist voreilend, die zweite nachteilig verzerrt. Namen oder Kurzzeichen der Station, der jeweilige Verzerrungsgrad und die Angaben über die Umpolung der Verzerrungsrichtung werden unverzerrt gesendet.

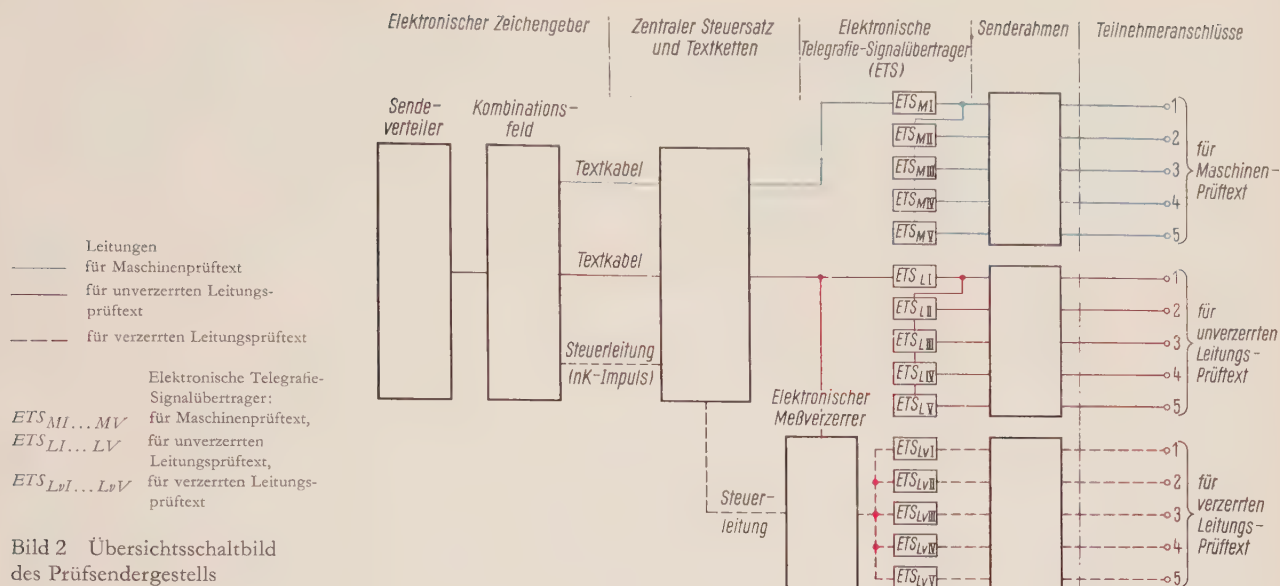
Die Fernschreibzeichen für die Prüftexte liefert ein »Elektronischer Zeichengeber« (Bilder 1 und 2) zunächst in Form von Einfachstrom-Impulsen. Sie werden über »Textkabel« in der gewünschten Reihenfolge Verteilerpunkten des Rahmens »Zentraler Steuersatz und Textketten« zugeführt. Die Fernschreibkombinationen lassen sich dort mit Hilfe von Relais-Textketten und von Tastrelais zu Prüftexten zusammenstellen. Sie werden anschließend in Doppelstrom umgesetzt. Der Maschinen- und der unverzerrte Leitungsprüftext laufen weiter zu je fünf »Elektronischen Telegrafie-Signalüberträgern« (ETS). Der definiert zu verzerrende Leitungsprüftext, in den zusätzliche unverzerrt auszusendende Angaben eingefügt sind, gelangt zunächst an den Eingang des »Elektronischen Fernschreib-Meßverzerrers«, an dessen Ausgang wiederum fünf Signalübertrager (ETS) angeschlossen sind.

Jede der drei Gruppen von fünf Signalüberträgern ist mit einem »Senderahmen« verbunden (rechts in Bild 2) und einem der drei Prüftexte zugeordnet. An einen Senderahmen lassen sich bis zu fünf »Teilnehmerleitungen« anschließen, die über die Amtseinrichtungen von jedem Teilnehmer des Fernschreibnetzes erreichbar sind. Nach Wahl der vorgesehenen Nummer sendet das Prüfsendergestell automatisch den gewünschten Prüftext. Bis zu fünf Teilnehmer können gleichzeitig und beliebig lang denselben Prüftext erhalten, wobei sich jeder Teilnehmer durch Schlußzeichengabe einzeln abschalten kann. Nach der Schlußzeichengabe des letzten Teilnehmers schaltet sich das Prüfsendergestell selbsttätig ab.

### Die einzelnen Geräte und ihre Aufgaben

#### Elektronischer Zeichengeber

Das Gerät besteht aus einem elektronischen Sendeverteiler und einem nachgeschalteten Kombinationsfeld (s. Bild 2). Für jeden Schritt der Fernschreibkombination (Anlaufschritt; 1. bis 5. Zeichenschritt; 1. und 2. Sperrschritt) ist am Sendeverteiler ein Ausgang vorhanden.



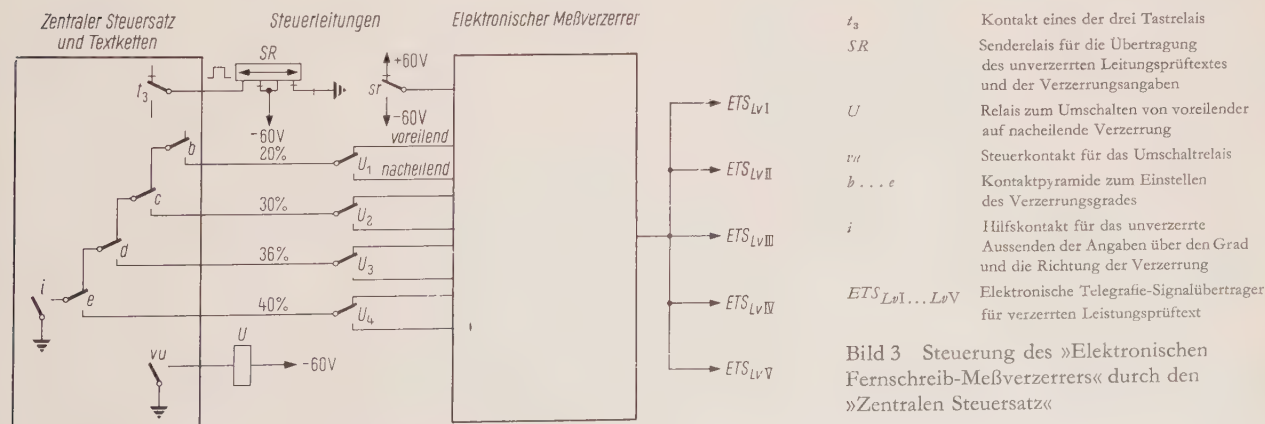
Die Fernschreibgeschwindigkeit kann durch Einsetzen eines entsprechenden Schwingquarzes und durch Umlöten einiger Brücken auf 45,45, 50, 56,85 oder 74,23 Baud eingestellt werden. Für 50 Baud hat der Quarz z.B. eine Frequenz von 3,2 kHz, die von einem Impulsformer in Rechteckimpulse umgewandelt und dann in einer sechsstufigen binären Teilerkette für den Betrieb eines Taktumschalters auf 50 Hz geteilt wird. Der Taktumschalter verstärkt die Steuerimpulse und sorgt für phasenrichtigen Start des achtstufigen Ausgangsschrittzählers, der die 50-Hz-Impulse verteilt.

An den Ausgängen erscheinen nacheinander 20-ms-Schritte, aus denen im Kombinationsfeld die Fernschreib-Kombinationen über Siliziumdioden zusammengesetzt werden. Der Elektronische Zeichengeber hat eine mittlere Bezugverzerrung von  $\leq 0,4\%$ , wogegen die Verzerrung bei mechanischen Gebern  $\leq \pm 2\%$  beträgt. Im Ruhezustand sind nur Quarzgenerator, Impulsformer und Überwachung des Sendeverteilers in Betrieb. Bei Störungen

oder auch, wenn eine der Steckbaugruppen gezogen wird, meldet ein Alarmrelais den Ausfall.

#### Zentraler Steuersatz und Textketten

Dieses Gerät dient dazu, aus den vom Elektronischen Zeichengeber gelieferten Fernschreibzeichen Prüftexte zu bilden (Bilder 2 und 3). Die an den Ausgängen des Kombinationsfeldes erscheinenden Fernschreibkombinationen schaltet ein Textkabel, das die Buchstabenfolge festlegt, im Rahmen »Zentraler Steuersatz und Textketten« an die Kontakte der Textkette, die die Kombinationen der Reihe nach abtastet (Bild 4). Mit dem »nk«-Impuls wird die Textkette über eine bistabile Kippstufe während des Sperrschrittes jeweils um einen Schritt weitergeschaltet. Da der Zeichengeber mit Einfachstrom- und Zeichenstromtastung arbeitet, entspricht dem Sperrschritt der Zustand »kein Strom«. Die Kontakte der Ketten- und Tastrelais werden also ohne Strombelastung umgeschaltet und sind dadurch kaum beansprucht.





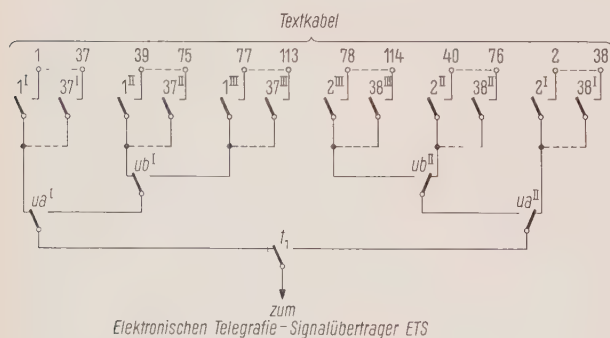
Wie aus Bild 4 ersichtlich, liegen an den Federn des Tastkontaktes  $A_j$  jeweils entweder die geradzahlgigen oder die ungeradzahlgigen Kontakte der Kettenrelais 1...38 an. Das der jeweiligen Kettenkonstellation entsprechende Zeichen wird zu dem für den Prüftext vorhandenen »Elektronischen Telegrafie-Signalübertrager« *ETS* durchgeschaltet. Da jeweils drei Kontakte eines Kettenrelais nach jedem Durchlauf der Textkette umgeschaltet werden, stehen insgesamt  $3 \cdot 38 = 114$  Schaltstellungen zur Verfügung. Davon lassen sich 113 mit Kombinationen beschalten. Nach jedem dritten Durchlauf wird die Textkette für etwa 2 s stillgesetzt.

Das Gerät liefert an seinen Ausgängen den unverzerrten Maschinenprüftext sowie den unverzerrten Leitungsprüftext. Beide Prüftexte enthalten je 113 Zeichen (einschließlich aller nicht abgedruckten), haben jedoch verschiedenen Inhalt. Um den verzerrt auszusendenden Text zu erhalten, werden die Zeichen im nachgeschalteten »Elektronischen Fernschreib-Meßverzerrer« verzerrt. Über den Rahmen »Zentraler Steuersatz und Textketten« werden hierzu die Verzerrungsstufen angeschaltet (s. Bild 3). Er bewirkt außerdem das unverzerrt Ausenden der Verzerrungsangaben und den Wechsel der Verzerrungsrichtung (voreilend/nacheilend).

## Elektronische Telegrafie-Signalübertrager

Diese Baugruppen dienen dazu, die Prüftexte zu den Amtseinrichtungen weiterzusenden; sie ersetzen gepolte elektromechanische Telegrafengeräte und sind aus elektronischen Bauelementen aufgebaut. Sie haben eine größere Sendegenauigkeit (Eigenverzerrung  $\leq 0,5\%$ ) und erfordern keine Wartung, da mechanisch beanspruchte Teile fehlen.

Zum Bilden der Wechselstrom-Telegrafiezeichen verwendet man eine Hilfsfrequenz von etwa 10 kHz, die von besonderen, mit Transistoren arbeitenden Generatoren



- |        |   |
|--------|---|
| 1...38 | Kontakte der Relais für die Textbildung     |
| $n_a$  | Umschaltkontakte für dreimaliges Umschalten |
| $n_b$  | ( $3 \times 38 = 114$ Schaltstellungen)     |
| $t_1$  | Kontakt eines Tastrlais                     |

Bild 4 Die Kontaktgruppen für das Zusammenstellen des Maschinen- und des Leitungsprüftextes

erzeugt wird. Zu je zwei Signalübertragern gehört ein Generator. Durch Einspeisen eines Steuerstromes von  $\pm 6 \text{ mA}$  in den Eingangskreis eines Signalübertragers wird dessen Ausgangskreis gesteuert. Der Richtung des Steuerstromes entsprechend erscheint am niederohmigen Ausgang eine Spannung von  $+60$  oder  $-60 \text{ V}$ . Der erste Signalüberträger  $ETS_{MI}$  oder  $ETS_{LI}$  (s. Bild 2) steuert seinerseits die in Reihe geschalteten Eingänge der zu seiner Gruppe gehörenden weiteren vier  $ETS$ .

Der Signalübertrager, der mit einem Automaten gegen Kurzschlüsse wirksam abgesichert ist, liefert einen Sendestrom von maximal 100 mA. Signalübertrager und Generator sind als Steckbaugruppen ausgeführt.

## Senderahmen

Der Senderahmen ist das Verbindungsglied zwischen dem Prüfendergestell und der Vermittlung. Er enthält die Anschalt- und Trennrelais für fünf Teilnehmer und ist jeweils einer der drei Textarten zugeordnet.

An besonderen Verteilern läßt er sich durch Lötbrücken an das System der Vermittlung anpassen (Wahlvermittlungs-System TW 39 oder TW M; Handvermittlung HV). Bei Wahlvermittlungen kann noch zwischen dem Anschluß an einen Gruppenwähler *GW* oder an einen Leitungswähler *LW* unterschieden werden.

## Elektronischer Fernschreib-Meßverzerrer

In diesem Gerät werden die vom Rahmen »Zentraler Steuersatz und Textketten« eintreffenden Zeichen des unverzerrten Leitungstextes definiert »voreilend« oder »nacheilend« nacheinander mit 0, 20, 30, 36, 40% verzerrt. Die Toleranz ist  $\leq \pm 0,5\%$ . Der Text wird so ausgesendet, daß nur alle Trennstromeinsätze verzerrt sind. Die erste Texthälfte erhält voreilende, die zweite nacheilende Verzerrung. Die Verzerrungsgröße und -richtung werden durch Relais eingestellt.

Im Prüftext müssen sich die Verzerrungsgrad-Angaben stufenweise ändern. Hierzu ist eine Kontaktpyramide vorgesehen. Damit die Verzerrungsgrad-Angaben vor Textbeginn und die Aussage über den Wechsel der Verzerrungsrichtung nach der ersten Texthälfte unverzerrt bleiben, trennt ein Kontakt  $i$  eines Hilfsrelais (s. Bild 3) die Ansprechkreise mehrerer Relais im Meßverzerrer auf. Zum Umschalten von voreilender Verzerrung auf nacheilende dienen die Kontakte des Relais  $U$ . Der Meßverzerrer steuert mit seiner ausgangsseitigen Transistorschaltung ( $\pm 30$  V) die dem verzerrten Leitungsprüftext zugeordneten Signalübertrager  $ETS_{L_{el} \dots N_2}$ , die über einen Senderahmen wieder auf maximal fünf Teilnehmeranschlüsse arbeiten. Mit einem Drehschalter lassen sich für Meßzwecke die Verzerrungsstufen des Leitungsprüftextes auch von Hand einstellen, wobei eine Sperrtaste das Aufschalten von Teilnehmern verhindert. An die für jeden Sendeausgang vorhandenen Meßklinken

können Strom- oder Verzerrungsmaschinen oder Meßgeräte angeschlossen werden.

Da mit Hilfe der Eingangsschaltung des Meßverzerrers die Fernschreibzeichen in der theoretischen Schrittmittel abgetastet werden, werden diese zunächst entzerrt. Anschließend erhalten alle Trennstromeinsätze eine konstante Verzögerung von 50% der Sollschriftlänge, während diejenige der Zeichenstromeinsätze stufenweise geändert wird. Am Ausgang erscheint die Summe der entgegengesetzt gerichteten Verzerrungen.

### Das Aufschalten der Amts- und Teilnehmer-einrichtungen

Das Gestell wird in TW 39-Ämtern entweder an einen Leitungswähler *LW* oder an einen Gruppenwähler *GW* geschaltet. Beim Leitungswähler bildet es bei Belegung die Kriterien einer Teilnehmerschaltung nach und beim Gruppenwähler diejenigen eines *LW*.

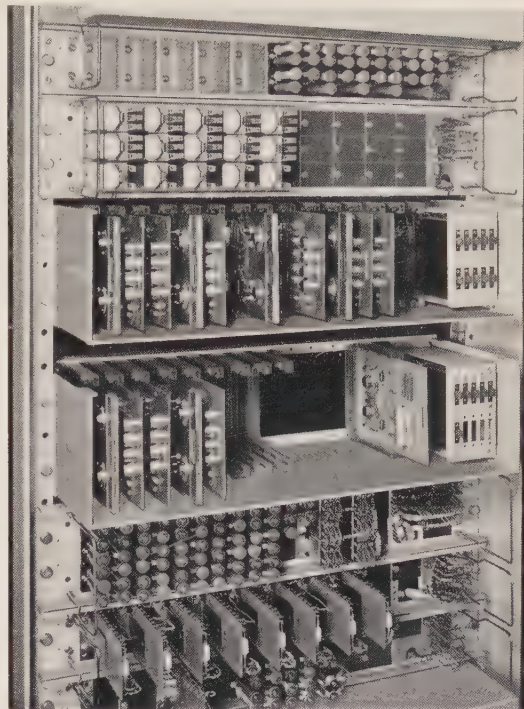
In TWM-Vermittlungen bildet man beim Anschalten des Prüfsenders an einen Gruppenwähler eine darauffolgende Übertragungsschiene nach, um ein Abschalten des für diese Prüfverbindungen nicht weiter benötigten Wählumsetzers zu erreichen. Beim Anschalten an einen Leitungswähler *LW* verhält sich der Prüfsender wie ein Fern Teilnehmer.

Der Teilnehmer erreicht nach Wahl der Rufnummer für die gewünschte Textart jeweils einen der fünf Anschlüsse des zugehörigen Senderrahmens. Befindet sich das Gestell in Ruhestellung, so werden automatisch der sofort betriebsbereite Zeichengeber und die Textkette angelassen. Die Fernschreibmaschine erhält das Kriterium »Teilnehmer erreicht«, läuft an und empfängt nach etwa 2 s Wartezeit den gewünschten Text. Erreicht der Teilnehmer einen freien Anschluß des Senderrahmens, während bereits ein anderer empfängt, dann kommt die Verbindung trotzdem zustande, und seine Fernschreibmaschine läuft an. Er erhält jedoch erst dann einen Text, wenn die Textkette nach dem dritten Durchlauf kurz stillsteht und wieder neu anläuft.

Die Verbindung bleibt so lange bestehen, bis der Teilnehmer die Schlußtaste drückt. Beim Gegenschreiben eines Teilnehmers wird dieser vom laufenden Text abgetrennt und erst beim nächsten Textbeginn wieder durchgeschaltet.

### Zusammenschalten mit anderen Geräten

Das Prüfsendergestell (Bild 5) wird – wie geschildert – in Fernschreibvermittlungen (TWM, TW 39, HV) eingesetzt. Es liefert an jedem seiner 15 Ausgänge Doppelpotential-Zeichen mit dem Potential  $\pm 60$  V bei einer mittleren Bezugverzerrung von etwa 0,5%. Bei Vollast bleibt der Maximalwert selbst bei ungünstigsten Spannungs- und Temperaturtoleranzen für Maschinen- und Leitungsprüfertext unter 2%, für den stufenweise verzerrten



Die Geräte von oben nach unten:

- 1 Senderrahmen
- 1 Rahmen für 10 Elektronische Telegrafie-Signalübertrager  
5 Generatoren
- 1 Rahmen für 5 Elektronische Telegrafie-Signalübertrager  
3 Generatoren  
1 bistabile Kippstufe für zentralen Steuersatz
- 2 Rahmen für Bildung der Fernschreibkombinationen  
für Maschinen- und Leitungsprüfertext
- 1 Rahmen für ein Kombinationsfeld

Bild 5 Teilansicht des Prüfsendergestells, eingerichtet für eine Fernschreib-Wahlvermittlung TW 39.

Leitungsprüfertext unter 1%. Es läßt sich auf alle in Fernschreibnetzen üblichen Telegrafier-Geschwindigkeiten einstellen.

Es ist möglich, die verfügbaren Fernschreibkombinationen und die acht Einzelschritte an besonderen Verteilern zu entnehmen und beispielsweise einem Lochstreifenabtaster T send 91 – wie er in halbautomatischen Speicher- vermittlungen verwendet wird – einem Abtastwähler oder anderen Fernschreibgeräten zuzuführen. Ist im Amt schon ein elektronischer Sendeverteiler vorhanden, so kommt das Prüfsendergestell ohne ein solches Gerät aus.

#### Schrifttum

- [1] Reche, K.: Entwicklungstendenzen und Fortschritte der Fernschreibtechnik. Siemens & Halske AG, Wernerwerk für Fernmeldetechnik, Juli 1952
- [2] Roßberg, E. A. und Korta, H.: Fernschreib-Vermittlungstechnik. Verlag R. Oldenbourg, München 1959
- [3] v. Sanden, D. und Keller, G.: Neue Meßgeräte der Fernschreibtechnik. NTZ 11 (1958) 411 bis 417
- [4] Gößlau, K.: Ein elektronischer Fernschreib-Meßsender. Frequenz 12 (1958) 223 bis 226
- [5] Funk, G.: Ein Fernschreib-Verzerrungsspektrometer. NTZ 13 (1960) 115 bis 119



## Stetig geregelter Schwingquarz-Thermostat für gedruckte Schaltungen

VON NORBERT LANGER

Transistoren und andere Halbleiter-Bauelemente haben eine beträchtliche Verkleinerung der Nachrichtengeräte ermöglicht und deren Leistungsbedarf stark herabgesetzt. Damit die Vorzüge dieser neuen Technik voll zur Geltung kommen, ist es aber erforderlich, daß auch die übrigen Bauteile der zugeordneten Schaltung klein und stromsparend sind.

Eine große Bedeutung in der Nachrichtentechnik haben frequenzgenaue Oszillatoren, die bei hohen Anforderungen durch einen Schwingquarz stabilisiert werden. Dieser allein ist dann praktisch frequenzbestimmend. Bei Verwendung des Nachrichtengerätes innerhalb eines weiten Temperaturbereiches stört in vielen Fällen die geringe, physikalisch bedingte und unvermeidbare Frequenzänderung des Schwingquarzes im Arbeitstemperaturbereich. Hier hilft der Einbau des Schwingquarzes in einen Thermostaten. Schwankungen der Umgebungstemperatur des Gerätes wirken dann auf den Schwingquarz nur noch wenig ein, denn die Innentemperatur des Thermostaten, die Arbeitstemperatur des Schwingquarzes also, wird in einem engen Bereich konstant gehalten. Zusätzlich kann in diesem engen Bereich der Temperaturkoeffizient der Schwingquarzfrequenz dadurch sehr klein gehalten werden, daß es in den meisten Fällen möglich ist, die Temperatur des Umkehrpunktes der Frequenz-Temperatur-Charakteristik des Schwingquarzes – mit einer gewissen Toleranz – gleich der Nenntemperatur des Thermostaten zu wählen.

Die bisher üblichen Thermostate arbeiten fast ausschließlich mit Zweipunkt-Regelung. Bei dieser unterscheidet ein Bimetallregler oder ein Kontaktthermometer als Temperaturfühler zwischen den Zuständen: Innentemperatur erreicht – Innentemperatur unterschritten; er schaltet davon abhängig eine Heizung aus oder ein. Diese nicht stetige Zuführung der Wärme erfordert eine Glättung der Wärmestöße in einen annähernd gleichmäßigen Wärmefluß zum beheizten Raum und damit zum Schwingquarz. Das wird hauptsächlich dadurch erreicht, daß man die Wand des beheizten Raumes als dicken Metallmantel mit hoher Wärmekapazität ausbildet, der auf seiner Außenseite die Heizwicklung trägt. Die dadurch bedingte Vergrößerung der Oberfläche des Heizmantels führt aber ihrerseits wieder zu größeren Wärmeverlusten, was eine erhöhte Heizleistung notwendig

macht. In empfindlichen Geräten können die Schaltimpulse des Thermostaten stören. Insgesamt ergibt sich, daß Thermostate der bisher üblichen Technik in Transistorgeräten, besonders wenn diese in gedruckter Schaltung aufgebaut sind, wegen ihrer Größe und ihres Gewichtes unbequem sind und die Leistung des gesamten Gerätes meistens ungünstig beeinflussen.

Um diese Lücke im Spektrum der Bauteile für gedruckte Schaltungen zu schließen, wurde ein stetig geregelter Kleinthermostat entwickelt.

Die stetige Regelung wird bei diesem Thermostat mit Halbleiter-Bauelementen erreicht. Einer der Halbleiter ist der Temperaturfühler zur Ableitung einer der Temperaturabweichung proportionalen Regelgröße. Diese wird verstärkt und durch einen Leistungstransistor in einen ständig fließenden Heizstrom umgesetzt, und zwar jeweils so, daß die Innentemperatur des Thermostaten nur innerhalb sehr enger Grenzen schwankt. Dieser Heizstrom hat einen Wärmefluß zur Folge, dessen Glättung durch Wärmekapazitäten nicht mehr nötig ist. Man kann deshalb die Heizwicklung auf einen dünnen Blechmantel aufbringen, der guten Wärmekontakt zum Schwingquarzhalter hat. Damit ist es möglich, sowohl den Thermostaten als auch die Wärmeverluste klein zu halten; es genügt daher eine wesentlich kleinere Heizleistung. Der Umgebungstemperaturbereich – also der Bereich der Umgebungstemperatur, in dem der Thermostat die vorgeschriebene Regelaufgabe erfüllt – ist seiner Größe nach durch die größte zulässige Verlustleistung des Leistungstransistors und die konstruktiv bedingten thermischen Eigenschaften des Thermostaten festgelegt. Er beträgt hier etwa 50 °C (Bild 1). Ein Vorteil der hier be-

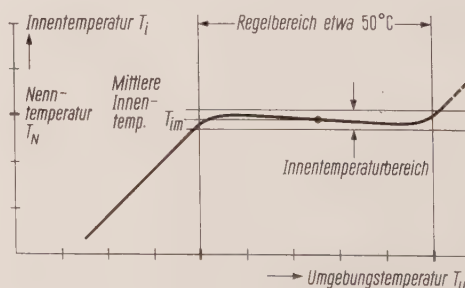
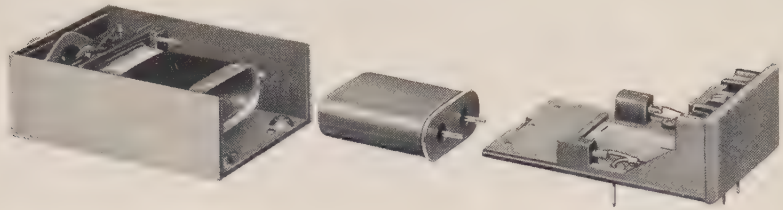


Bild 1 Regelkennlinie des stetig geregelten Kleinthermostaten

Links: Oberteil  
Mitte: Schwingquarz Rechts: Unterteil

Bild 2 Die konstruktive Aufstellung ermöglicht ein leichtes Auswechseln des Schwingquarzes



nutzten Regelschaltung ist der, daß sich durch entsprechende Bemessung eines Widerstands die Nenntemperatur oder, anders ausgedrückt, die Lage des Umgebungstemperaturbereiches innerhalb eines verhältnismäßig großen Temperaturintervalls wählen läßt.

Konstruktiv besteht der Thermostat aus einem Unterteil (Schwingquarzfassung) und einem Oberteil (Temperaturstabilisierung).

Das Unterteil, eine einfache Grundplatte, enthält eine mechanische Halterung und eine Steckverbindung für den Schwingquarz, ferner zwei Steckbuchsen für den Heizungsanschluß. Auf der Unterseite der Grundplatte sind vier Anschlüsse sowie drei Haltekrallen für die Befestigung des Thermostaten herausgeführt, und zwar in einer für das 2,5-mm-Raster für gedruckte Schaltungen passenden Anordnung.

Das Oberteil ergänzt die Grundplatte zu einem geschlossenen Kasten, der eine Luftströmung nicht zuläßt. Er enthält die gesamte Regelschaltung, den Heizmantel mit Heizwicklung und die beiden Stecker für die Heizspannungszuführung.

Diese konstruktive Aufteilung ermöglicht es, daß je nach Bedarf die Grundplatte mit Schwingquarz durch Aufchieben des Oberteiles zum »Schwingquarz im Thermostat« ergänzt werden kann. Die Lötstellen, die den Thermostat mit der gedruckten Schaltung verbinden, brauchen also beim Öffnen des Thermostaten und somit bei Wechsel des Schwingquarzes (Frequenzwechsel) nicht gelöst zu werden (Bild 2).

Die Möglichkeit, das Temperaturregelteil auf einfache Art und Weise nachzurüsten, nämlich durch einfaches Aufstecken, erweist sich oft als vorteilhaft. Das gilt einerseits für Geräte, bei denen der Schwingquarz im gleichen Umgebungstemperaturbereich wahlweise je nach Einsatzfall unterschiedliche Forderungen an die Konstanz erfüllen soll. Andererseits lassen sich die gleichen Forderungen für wahlweise verschieden große Umgebungstemperaturbereiche verwirklichen.

Den beschriebenen Thermostaten gibt es vorerst nur für die Schwingquarzbauform Q 39 (oder auch Q 34). Dieser Haltertyp ist hauptsächlich für Dickenschwinger im Frequenzbereich 0,4 bis 10 MHz bestimmt sowie für Flächenschwinger im Frequenzge-

biet 100 bis 200 kHz. Der Anwendungsbereich des Halters kann bei Bedarf auf Schwingquarze mit Frequenzen zwischen 30 kHz und 150 MHz erweitert werden.

Die wichtigsten Kenndaten des neuen, stetig geregelten Kleinthermostaten QT 27 sind: (vgl. hierzu Bild 1):

Betriebsspannung	wahlweise 24 oder 30 V <sub>~</sub>
Größte Regelheizleistung	2 W
Nenntemperatur $T_N$	wahlweise 0 bis + 65 °C
Umgebungstemperaturbereich	( $T_N - 53$ °C) bis ( $T_N - 3$ °C)
Mittlere Innentemperatur $T_{im}$	$T_N \pm 1$ °C
Änderung der mittleren Innentemperatur bei Änderung der Betriebsspannung um $\pm 10\%$	$\pm 0,5$ °C
Innentemperaturbereich	$T_{im} \pm 2$ °C
Einlaufzeit (von mittlerer Umgebungstemperatur)	etwa 15 min

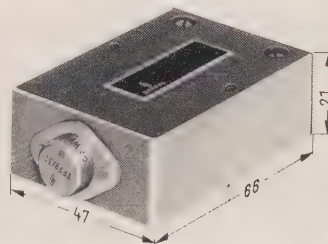


Bild 3  
Kleinthermostat QT 27  
(Maße in mm)

Die Temperaturstabilität des Thermostaten von  $\pm 2$  °C erscheint klein; sie genügt aber in der überwiegenden Anzahl der Anwendungsfälle. Die besonderen Vorzüge des neuen Thermostaten (Bild 3) liegen gegenüber bisherigen Ausführungen in seinem kleinen Bedarf an Raum und Leistung. Der beschriebene Thermostat erweist sich damit als ein wichtiges Bauteil für gedruckte Schaltungen.



## Die kalorimetrischen Verfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Großmaschinen

VON WOLFGANG LIEBE UND WINFRIED BOLDIN

Die Verluste der elektrischen Maschine klein zu halten, ist von jeher das Bestreben des auf einen guten Wirkungsgrad bedachten Ingenieurs. Bei dem immer schärfer werdenden Wettbewerb kommt dieser Aufgabe erhöhte Bedeutung zu. Hersteller und Abnehmer sind darum an einer zuverlässigen Prüfung der gewährleisteten Werte interessiert.

Mit herkömmlichen Verfahren läßt sich der Wirkungsgrad nicht immer zufriedenstellend nachweisen; wenn z. B. ein großer Wasserkraftgenerator erst am Aufstellungsort zusammengebaut wird, können die Verluste von Generator und Turbine nicht mehr sauber voneinander getrennt werden. In solchen Fällen sind kalorimetrische Verfahren angebracht. Darüber hinaus bietet die Kalorimetrie auch in anderen Fällen Vorteile bei der Prüfung und Untersuchung von Großmaschinen.

Der Gedanke, den Wirkungsgrad einer elektrischen Maschine kalorimetrisch zu messen, ist nicht neu. Auch das Verfahren ist längst bekannt und vielfach beschrieben worden [1, 2, 3]. Es fehlten aber meßtechnische Erfahrungen\* und Unterlagen über die bei Großmaschinen erreichbare Genauigkeit; besonders fehlten Vergleiche zwischen kalorimetrisch und konventionell bestimmten Verlusten an ein und derselben Maschine.

Solche Untersuchungen sind in den letzten Jahren vom Dynamowerk der Siemens-Schuckertwerke durchgeführt worden. Dabei stellte sich heraus, daß die kalorimetrische Methode in der Genauigkeit den üblichen Verfahren ebenbürtig ist. Ihre Anwendung erfordert allerdings spezielle Kenntnisse der Meßtechnik. Deswegen wird nachfolgend vor der Erörterung der Ergebnisse auf die Meßtechnik besonders eingegangen.

### Meßaufgabe

Grundsätzlich bieten sich zwei Möglichkeiten für die Anwendung kalorimetrischer Verfahren: die Messung im Luftkreis, also im Primärkreis des Kühlsystems oder die Messung im sekundären Wasserkühlkreis (Bild 1). Der physikalische Tatbestand für beide Meßvorgänge ist der gleiche: Die Gesamtverluste – bis auf einen feststellbaren Rest – finden sich wieder in der Erwärmung des Kühlmittels. Sie können also durch Messung des

aus der Maschine quellenden Wärmestroms bestimmt werden.

Nicht darin enthalten sind im allgemeinen die Lagerverluste, die gesondert gemessen werden müssen. Ferner fehlt der durch freie Konvektion und Strahlung am Maschinengehäuse nach außen abgegebene Wärmestrom, der aufgrund von Erfahrungswerten bestimmt werden kann, wogegen der über Maschinenwelle und Fundament abfließende Wärmeverlust vernachlässigt werden darf.

Die Gesamtverluste  $P_V$  setzen sich also aus drei Anteilen zusammen:

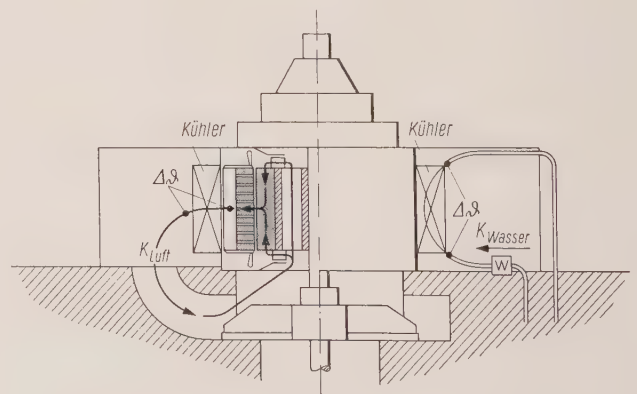
1. aus dem an das Kühlmittel abgegebenen Wärmestrom  $Q_K$ ,
2. aus dem vom Gehäuse nach außen abgeführten Wärmestrom  $Q_G$  und
3. aus den Lagerverlusten  $Q_L$ :

$$P_V = Q_K + Q_G + Q_L$$

Zu 1: Der vom Kühlmittel aufgenommene Hauptanteil der Verluste ist:

$$Q_K = K \Delta\theta c \rho$$

Um die in diesem Wärmestrom enthaltenen elektrischen und mechanischen Verluste zu bestimmen, ist demnach nur notwendig, den Kühlstrom  $K$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  zu messen und die Aufheizung  $\Delta\theta$  in  $^\circ\text{C}$



$$\text{Gesamtverluste } P_V = K \Delta\theta c \rho + Q_{\text{Gehäuse}} + Q_{\text{Lager}}$$

Bild 1 Kühlsystem eines Wasserkraftgenerators mit Kreislaufkühlung und Prinzip der kalorimetrischen Messung, links im Luftkreis, rechts im Wasserkreis. Gemessen werden Kühlstrom  $K$  und Kühlstromaufheizung  $\Delta\theta$

\* Einen wertvollen Beitrag hierzu lieferte F. Aemmer [4]; während der Drucklegung dieses Heftes wurde eine ausführliche Arbeit von K. Bitter [5] bekannt.

des Kühlmittels festzustellen. Außerdem muß die spezifische Wärme  $c$  des Kühlmittels in  $\text{Ws/kg grd}$  sowie seine Dichte  $\rho$  in  $\text{kg/m}^3$  am Ort der Mengenummessung gegeben sein.

Zu 2: Die Wärmeabführung am Gehäuse läßt sich abschätzen, wenn die mittlere Gehäusetemperatur  $\vartheta_G$  und die mittlere Temperatur der Umgebungsluft  $\vartheta_0$ , ferner die beteiligte warme Gehäuseoberfläche  $A$  sowie die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  bekannt sind:

$$Q_G = \alpha A (\vartheta_G - \vartheta_0)$$

Bei Großmaschinen kann für die Wärmeübergangszahl nach der Erfahrung etwa  $10 \text{ W/m}^2\text{grad}$  gesetzt werden\*.

Zu 3: Die Lagerverluste flüssigkeitsgekühlter Lager lassen sich kalorimetrisch bestimmen, wobei auch hier die durch Strahlung und Konvektion abgeführte Wärmemenge zu berücksichtigen ist. Darauf wird noch eingegangen.

Mit  $P_V$  als Summe der drei Anteile  $Q_K$ ,  $Q_G$  und  $Q_L$  kann dann der Wirkungsgrad errechnet werden, wenn  $P$  die abgegebene Nutzleistung der Maschine ist:

$$\eta = 1 - \frac{P_V}{P + P_V}$$

Die Bestimmung des Wirkungsgrades läuft damit im wesentlichen auf eine Mengenummessung und eine Temperaturmessung hinaus. Dies gilt sowohl im Luftkreis als auch im Wasserkreis.

### Durchführung der Messung

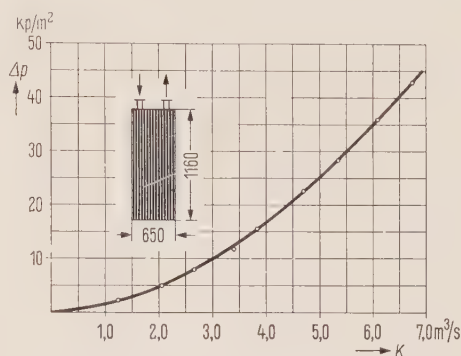
Eine wichtige Voraussetzung für jede Kalorimetrische Messung ist die, daß der Kühlluftkreis keine Leckstellen hat, daß also der gesamte Luftstrom tatsächlich durch die Meßorgane fließt und nicht etwa zum Teil unkontrolliert entweichen kann. Diese Voraussetzung ist vor der Anwendung kalorimetrischer Verfahren gewissenhaft zu prüfen; Leckstellen müssen sorgfältig abgedichtet werden.

#### Primärkreis

Damit eine genaue Mengenummessung möglich wird, muß das Kühlmittel durch einen definierten, vom Medium voll ausgefüllten Querschnitt geleitet werden. Besondere Meßkanäle wird man an Großmaschinen wegen des Aufwandes vermeiden. Statt dessen bietet sich bei Kreislaufkühlung, wenn also Rückkühler im Kreislauf liegen, die Möglichkeit, an den Kühlern, die vom gesamten Luftstrom durchflossen werden sollen, die Durchflußmenge zu erfassen.

Man kann sogar die Kühler selbst als Meßorgan benutzen, da der Druckverlust im Lamellenpaket eindeutig

mit der Durchströmung zusammenhängt (Bild 2). Um aus der Druckdifferenz über die Kühlerkennlinie den Kühlstrom zu gewinnen, ist dann nur erforderlich, die Drücke vor und hinter dem Kühler festzustellen. Bild 3 zeigt ein besonderes Meßgerät für diese Aufgabe: eine Sonde in Form einer stählernen Hohlzylinder, die durch das Lamellenpaket gezwängt werden kann und an zwei Rohrstutzen die Druckdifferenz liefert. Zur Druckmessung wird man Feinmanometer, z.B. Schrägrohrmanometer, verwenden.



$$F = 0,75 \text{ m}^2$$

$$\rho = 0,121 \text{ kp s}^2/\text{m}^4 = 1,190 \text{ kg/m}^3$$

Bild 2 Zusammenhang zwischen Luftstrom  $K$  und Druckverlust  $\Delta p$  bei einem Wasserkühler mit 25 berippten Röhren

Auf dieser Grundlage wurde das »Kühlerdruck-Verfahren« entwickelt, mit dessen Hilfe die ersten erfolgreichen kalorimetrischen Messungen an Großmaschinen durchgeführt worden sind (vgl. Bild 7). Die Anwendung dieses Verfahrens setzt eine genaue Kenntnis der Kühlerkennlinie, d.h. des Zusammenhangs zwischen Druck und Mengenstrom voraus (s. Bild 2). Diese Kühlerkennlinie wird vom Kühlerhersteller im allgemeinen mitgeliefert, da sie zu den Leistungsdaten des Kühlers gehört. Andernfalls muß sie zuvor experimentell bestimmt werden. Selbstverständlich darf der Kühler auf der Luft-

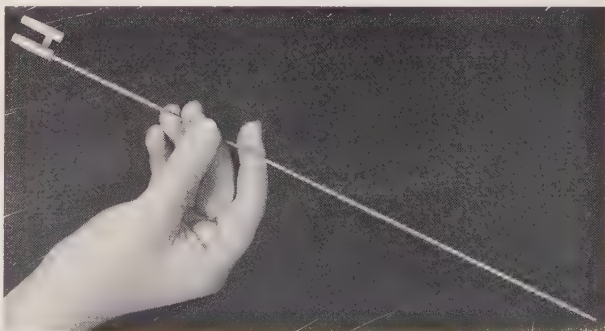


Bild 3 Stahlsonde zum Messen der Druckdifferenz am Kühler. An den beiden Stutzen wird die Druckdifferenz abgenommen

\* In den Vorschriften der USA sind hierfür  $7,75 \text{ W/m}^2\text{grad}$  angegeben; der Schweizerische Elektrotechnische Verein schlägt 10 bis  $20 \text{ W/m}^2\text{grad}$  vor.



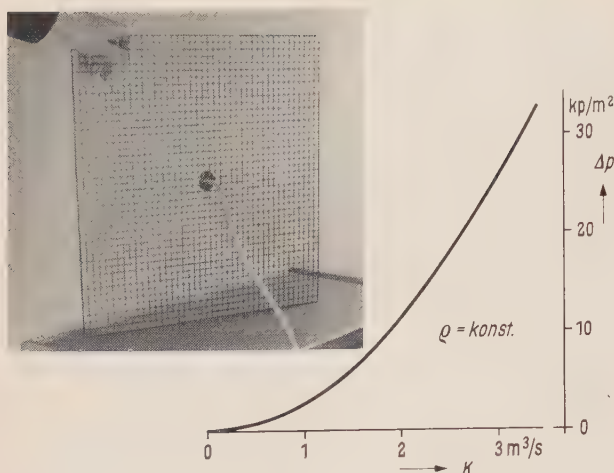


Bild 4 Meßblende zur Bestimmung des Luftstroms aus dem Druckverlust. Der Zusammenhang  $K(\Delta p)$  gilt für eine bestimmte Luftdichte  $\rho$  und muß gegebenenfalls auf andere Luftverhältnisse umgerechnet werden

seite nicht verschmutzt sein, wenn das Kühlerdruck-Verfahren angewendet werden soll.

Schwieriger wird die Lösung der Aufgabe bei Frischluftbeschickung, wenn keine Kühler im Kreislauf liegen. Hier ist die Messung im Luftkreis das einzig mögliche kalorimetrische Verfahren, weil nur der primäre Kühlkreis vorhanden ist. Für diesen Fall haben sich einfache geeichte Blenden als Meßorgan bewährt (Bild 4). Je nach Größe des Kühlstroms können mehrere solcher »Widerstände« nebeneinander gesetzt, d. h. parallel geschaltet werden. Ihre beste Anbringung erfordert einige strömungstechnische Erfahrungen (Bild 11).



Bild 5 Flügelrad-Wasserzähler

Die Temperaturmessung im Luftstrom bereitet meistens keine Schwierigkeiten. Die Temperaturdifferenz liegt bei Einzelverlustmessung in der Größenordnung von 10 grd und kann mit einem Quecksilberthermometer in Zehntelgrad-Einteilung genau genug gemessen werden. Wenn Kühler im Kreislauf liegen und die Temperaturdifferenz am Kühler festgestellt werden muß, ist die Lufttemperatur auf der Austrittsseite des Kühlers an mehreren Stellen zu messen, weil die Luftabkühlung wegen der Wasseraufheizung örtlich verschieden ist. Ebenso muß auch die Druckdifferenz an mehreren Stellen gemessen werden, wenn die Durchströmgeschwindigkeit nicht überall die gleiche ist. Es wird somit häufig nötig sein, das ganze Kühlerfeld abzutasten.

### Sekundärkreis

Eine kalorimetrische Messung im Wasserkreis läßt sich immer dann durchführen, wenn wasserbeschickte Rückkühlelemente im Kühlkreis liegen. Der Kühlwasserstrom wird mit Flügelrad-Wasserzählern handelsüblicher Bauart (Bild 5) gemessen. Damit ist eine sehr genaue Messung möglich; allerdings muß gewährleistet sein, daß das Wasser keine Luft- oder Gasbeimischungen enthält. Anschlußstellen für den Einbau dieser Zähler werden im Rohrsystem von vornherein vorgesehen.

Die Temperaturdifferenz im Wasser zwischen Warm- und Kaltstrom kann mit eingebauten Platin-Widerstandsthermometern elektrisch gemessen werden. Die Meßfühler sind dabei dem Kühlwasserstrom unmittelbar ausgesetzt. Es empfiehlt sich, auf der Warmwasserseite eine Mischblende einzubauen oder den Zähler so anzubringen, daß er auf der Warmwasserseite als Mischer wirkt.

Der Wärmestrom, den das Kühlwasser mit sich führt, enthält außer den Maschinenverlusten auch die Druckverluste im Kühler, also die beim Durchtreiben des Wassers durch die Kühlrohre verlorene Strömungsenergie. Diese Verluste sind klein und lassen sich, wenn der Druckverlust des Wassers im Kühler bekannt ist, aus dem Produkt von Druckverlust und Kühlwasserstrom errechnen.

### Messung der Lagerreibungsverluste

Die Messung der Lagerreibungsverluste kann kalorimetrisch auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Verhältnismäßig einfach mißt man die Kühlmittelmenge (Öl bzw. Wasser) mit einem Mengenzähler und die Zu- und Abflußtemperaturen mit Hilfe von Quecksilber- oder Widerstandsthermometern. Die durch Abstrahlung und Konvektion an der Oberfläche der Lager- und Öltöpfe abgeführten Wärmemengen werden, wie bei der kalorimetrischen Messung der Maschinenverluste, mit Hilfe von Erfahrungswerten ermittelt. Bei Lagern großer langsamlaufender Maschinen ist der Anteil der Abstrahlungs- und Konvektionsverluste wegen der Temperaturdifferenz zwischen Lagergehäuse und Umgebung verhält-

nismäßig hoch. Bei senkrechten Wasserkraftgeneratoren ist die Öltopfoberfläche überdies häufig der Generatorkühlluft ausgesetzt, so daß höhere Wärmeübergangszahlen gelten als am Maschinengehäuse. Darum lassen sich hier auch keine allgemeingültigen Werte für die Wärmeübergangszahlen angeben.

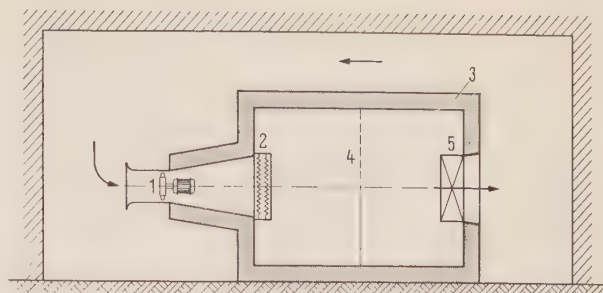
Bei einem Sonderverfahren [6] zur Bestimmung der Lagerreibungsverluste, das nicht ausschließlich kalorimetrisch arbeitet, wird durch elektrische Zusatzheizung das dem Lager zufließende Öl mit verschiedenen Leistungen vorgeheizt. Die im Beharrungszustand aus Zu- und Abflußtemperatur errechneten Temperaturunterschiede, über der zugehörigen Heizleistung aufgetragen, ergeben durch Extrapolation auf den Temperaturunterschied Null die vom Lager erzeugten Verluste. Dieses Verfahren hat einige Vorteile: Es ist dabei nicht erforderlich, die Ölmenge zu messen, was Schwierigkeiten machen kann, wenn das Öl schäumt. Außerdem werden die Abstrahlungs- und Konvektionsverluste miterfaßt und brauchen nicht abgeschätzt zu werden. Schließlich können auf diese Weise auch Lager vermessen werden, die keine Flüssigkeitskühlung haben; die Zusatzheizung ist dann ins Lager selbst einzubauen, und als Temperaturunterschied wird die Differenz zwischen Oberflächentemperatur und Umgebungsluft aufgetragen.

Ein anderes Verfahren zur kalorimetrischen Bestimmung der Lagerreibungsverluste geht von der Voraussetzung aus, daß der durch Abstrahlung und Konvektion abgeführte Anteil der Lagerreibungsverluste proportional der Lagererwärmung ist. Betreibt man ein Lager bei verschiedenen Temperaturen, was bei Flüssigkeitskühlung durch Änderung der Kühlmittelmenge möglich ist, und trägt die Lagererwärmung über der im Kühlmittel abgeführten Wärmemenge auf, so lassen sich die Lagerreibungsverluste durch Extrapolation auf Lagererwärmung Null bestimmen.

### Genauigkeit kalorimetrischer Messungen

Zur Prüfung der Genauigkeit kalorimetrischer Verfahren sind Versuche in einem Modell-Kühlkreis durchgeführt worden (Bild 6), bei denen die elektrisch zugeführte Heizleistung genau bestimmt werden konnte. Dieser Vergleich hat ergeben, daß die luftkalorimetrische Messung um höchstens  $\pm 3\%$ , die wasserkalorimetrische – gasfreien Kühlwasserstrom vorausgesetzt – um höchstens  $\pm 1\%$  von der elektrischen Messung abweicht.

Bei sorgfältiger Messung kann mit dieser Genauigkeit auch an der Maschine gerechnet werden. Der folgende Vergleich zwischen kalorimetrisch und auf herkömmliche Weise vermessenen Wasserkraftgeneratoren zeigt, daß die Abweichungen geringer sind, sofern nicht Unterschiede im Aufbau oder andere Fehler eine Rolle spielen. Für die kalorimetrische Messung ist demnach – einen Maschinenwirkungsgrad von 97% vorausgesetzt –



- |                  |  |
|------------------|--|
| 1 Lüfter         | 4 Drosselblech zur Vergleichmäßigung der |
| 2 Heizwiderstand | Luftgeschwindigkeit und Temperatur       |
| 3 Druckkammer    | 5 Kühler                                 |

Bild 6 Modell-Kühlkreis mit Heizwiderstand und Kühler zum Prüfen kalorimetrischer Verfahren

im ungünstigsten Fall mit einer Unsicherheit von  $\pm 0,03 \cdot 0,03 = \pm 0,001$  oder  $\pm 0,1\%$  in der Wirkungsgradangabe zu rechnen.

### Ergebnisse

Nachdem die Brauchbarkeit der kalorimetrischen Verfahren erwiesen war, wurden Wirkungsgradmessungen an Großmaschinen durchgeführt, so oft sich Gelegenheit dazu bot. So sind in den letzten Jahren fünfzehn Wasserkraftgeneratoren kalorimetrisch vermessen worden, davon fünf im Luftkreis, die übrigen zehn im Wasserkreis. Aufgrund der dabei gesammelten Erfahrungen kann das kalorimetrische Verfahren zur Verlustmessung und Wirkungsgradbestimmung für Wasserkraftgeneratoren empfohlen werden.

Bei sieben Maschinen war es möglich, die kalorimetrische Messung mit der Prüffeldmessung bzw. mit der am Aufstellungsort vorgenommenen Auslaufmessung zu vergleichen. Diese Fälle werden nachstehend ausführlich behandelt.

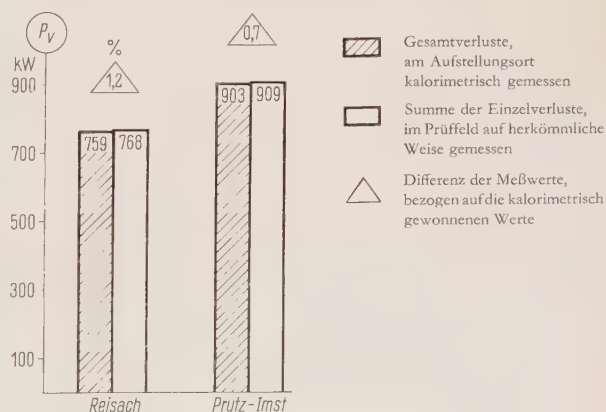


Bild 7 Ergebnisse der ersten kalorimetrischen Verlustmessung an großen Wasserkraftgeneratoren, im Luftkreis nach dem Kühlerdruck-Verfahren durchgeführt



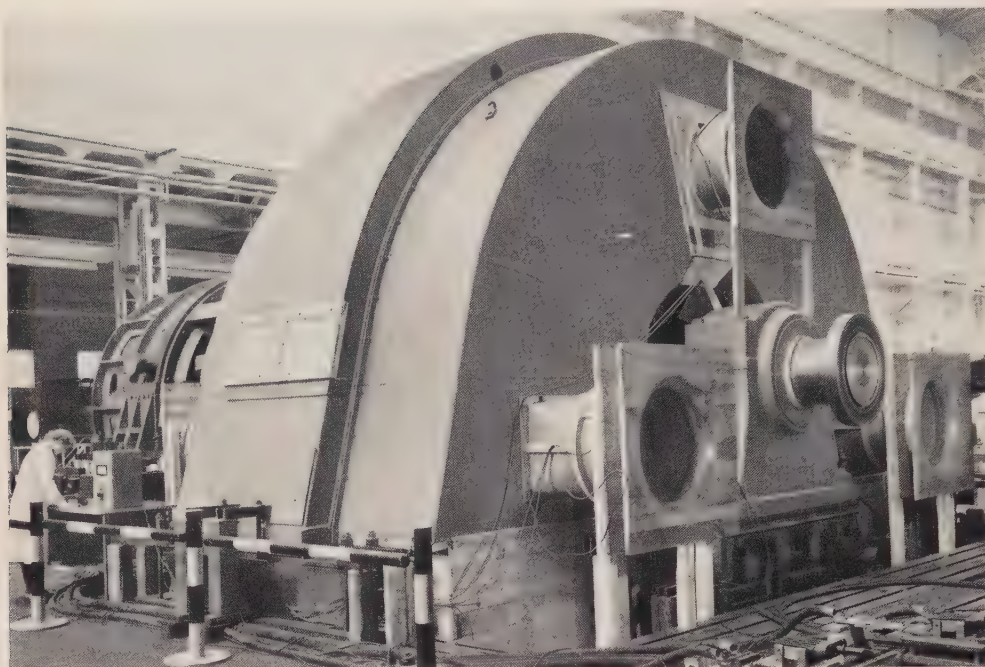


Bild 8 Drehstrom-Synchrongenerator für das Pumpspeicherwerk Reisach im Prüffeld

Gesamtverluste kalorimetrisch gemessen (Luftkreis), verglichen mit der Prüffeldmessung

Bild 7 zeigt für zwei Wasserkraftgeneratoren in den Kraftwerken Reisach und Prutz-Imst jeweils die am Aufstellungsort bei Nennlast kalorimetrisch gemessenen Verluste und die im Prüffeld elektrisch über einen geeichten Antriebsmotor gewonnenen Werte. Die Ergebnisse der in beiden Fällen im Luftkreis durchgeführten kalorimetrischen Messung stimmen mit der Prüffeldmessung gut überein, obwohl die Gesamtverluste und die Summe der Einzelverluste in Vergleich gesetzt sind. Die Differenz beträgt nur 1,2 bzw. 0,7%. Dabei ist allerdings hervorzuheben, daß in beiden Fällen besondere Mühe darauf verwendet worden war, die Belüftung im Prüffeld den erwarteten Verhältnissen am Aufstellungsort anzupassen (Bilder 8 und 9), um gute Übereinstimmung in den Luftreibungsverlusten zu erreichen.

Der Durchfluß wurde in beiden Fällen nach dem Kühlerdruck-Verfahren gemessen. Die Maschine für das Pumpspeicherwerk Reisach hat eine horizontale Welle. Die Durchströmung der unter der Maschine liegenden Kühler war ungleichmäßig, weswegen an zahlreichen Punkten des Kühlers Druck- und Temperaturmessungen durchgeführt werden mußten.

Die Maschine für das Wasserkraftwerk Prutz-Imst, ein vertikaler Wasserkraftgenerator mit sechs gleichmäßig über den Maschinenrücken

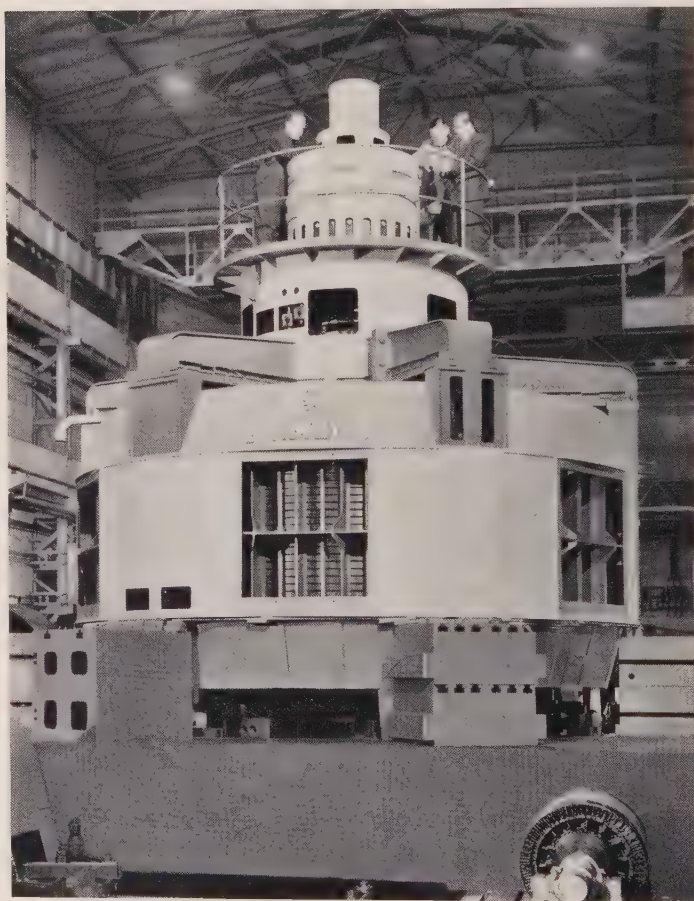


Bild 9 Drehstrom-Synchrongenerator für das Wasserkraftwerk Prutz-Imst im Prüffeld. Die untere Abdeckung (am Aufstellungsort vom Betonfundament gebildet) wurde im Prüffeld durch eine Holzverschalung ersetzt





vom Betonfundament gebildete Abdeckung. Der untere Lüfter lief deswegen im Prüffeld frei und die Luftreibungsverluste wurden höher. Bei der Anlage Prutz-Imst (vgl. Bild 9) war dieser Mangel durch eine Holz-

verschalung behoben worden. Solcher Aufwand läßt sich aber nicht immer treiben. Bei der konventionellen Prüfung im Werk wird der vertikale Generator darum häufig zu ungünstig beurteilt.

Dagegen brachten die Messungen an der Anlage Skjerka (Bild 14) ein ganz anderes Ergebnis. Die kalorimetrische Messung führte hier bei den drei Einzelverlusten zu merklich höheren Werten als die konventionelle Messung im Prüffeld. Dieser auffallenden Unstimmigkeit wurde nachgegangen. Es ließ sich nachweisen, daß die Wasserpumpe, die das Kühlwassernetz versorgt, Luft ansaugte, so daß der volumetrische Zähler nicht voll mit Wasser gefüllt war, sondern teilweise mit Luft. Da das Mischungsverhältnis nicht bekannt ist, lassen sich Dichte und spezifische Wärme des Kühlmediums nicht angeben. Rechnet man mit den Werten für Wasser, so ergeben sich zu hohe Verlustbeträge.

Diese Fälschung der Meßergebnisse durch Gaseinschlüsse bedeutet für die Anwendung des wasserkalorimetrischen Verfahrens eine Unsicherheit. Sie läßt sich vermeiden, wenn man den Wasserstrom – etwa in einem zwischengeschalteten durchsichtigen Rohrstück – sorgfältig auf Gasfreiheit überwacht. Werden Gasblasen festgestellt oder ist mitgerissene Luft im Kühlwasserstrom zu vermuten, so kann das wasserkalorimetrische Verfahren nicht angewendet werden.

### Einzelverlustmessungen

Das kalorimetrische Verfahren macht sowohl eine Messung der Einzelverluste als auch der Gesamtverluste möglich. In einigen Fällen konnten beide bestimmt werden. Dabei ergab sich, daß die Gesamtverluste im Höchstfall um 3% von der Summe der Einzelverluste abweichen. Dieser Unterschied ist unbedeutend und bleibt im Rahmen der Meßgenauigkeit. Da die Messung der Einzelverluste andererseits einen tieferen Einblick in die Zusammenhänge ermöglicht und es außerdem Schwierigkeiten machen kann, die Maschinenleistung bei einer Gesamtverlustmessung über die erforderliche Meßzeit von mindestens sechs Stunden wirklich konstant zu halten, ist dem Einzelverlustverfahren der Vorzug gegenüber der Gesamtverlustmessung zu geben.

#### Schrifttum

- [1] Richter, R.: Elektrische Maschinen Bd. II, Abschnitt II K. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. 2. Auflage 1953
- [2] American Institute of Electrical Engineers: Test Code for Synchronous Machines, Nr. 503, June 1945 21 bis 24
- [3] Regeln für elektrische Maschinen. Bull. SEV 41 (1950) 859 bis 880
- [4] Aemmer, F.: Über die Bestimmung der Verluste von elektrischen Generatoren nach der kalorimetrischen Methode. Bull. SEV 50 (1959) 1165 bis 1170
- [5] Bitter, K.: Die Wirkungsgradmessung nach dem Kalorimeter-Verfahren und die Anwendung desselben bei den Generatoren des Kraftwerks Ybbs-Persenbeug. ELIN-Zeitschrift 12 (1960) 71 bis 80
- [6] Tobler, K.: Messung der Lagerreibungsverluste. Escher-Wyss-Sonderheft »100 Jahre Wasserturbinenbau«, S. 72

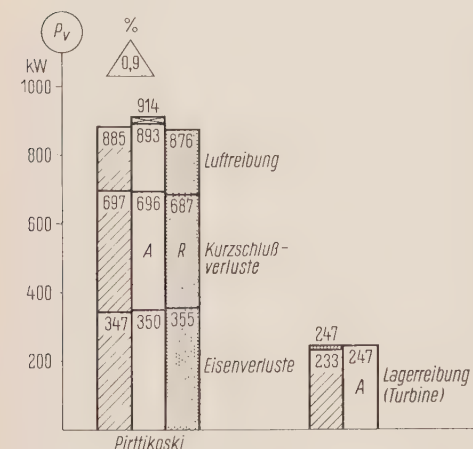


Bild 12 Einzelverluste eines Generators im Wasserkraftwerk Pirttikoski. Werden die für das Turbinenrad berechneten Reibungsverluste abgesetzt, so stimmen die Meßergebnisse gut überein. (Kennzeichnung vgl. Bild 10)

Rechts: Die im Auslaufverfahren gefundenen Lagerverluste der Turbine entsprechen sehr genau den wasserkalorimetrisch im Kühlkreis des Traglagers gemessenen Werten, wenn man für Stopfbuchse und Führungslager einen Zuschlag macht



Bild 13 Meßergebnisse und Rechenwerte für die Generatorverluste in den Wasserkraftwerken Solbergfoss und Haaverstad. Die gemessenen Kurzschluß- und Eisenverluste stimmen gut überein. Nur die Luftreibungsverluste wurden in beiden Fällen im Prüffeld zu hoch ermittelt, weil die untere Abdeckung fehlte

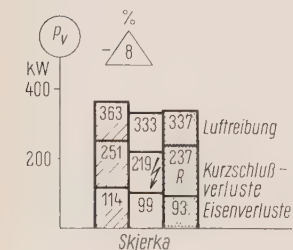


Bild 14 Messungen am Generator für das Wasserkraftwerk Skjerka. Die wasserkalorimetrisch bestimmten Verluste sind zu hoch, weil Luft in den Kühlwasser-Kreis einge-drungen war (Kennzeichnung vgl. Bild 13)

## Neuerungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Maschinen nach dem Auslaufverfahren

VON RUDOLF FUSSAN

### Bedeutung des Wirkungsgradnachweises

Bei der Auftragsvergabe von Großstromerzeugern hat der Wirkungsgrad von jeher eine große Rolle gespielt. Er wird bei der Bestellung des Generators vom Hersteller vertraglich gewährleistet und ist nach der Fertigstellung nachzuweisen. Nun ist bei Wasserkraftgeneratoren, deren Einheiten ebenso wie die der Turbogeneratoren ständig größer werden, der Aufbau im Prüffeld des Herstellers über eine bestimmte Größe hinaus nicht mehr möglich und auch nicht wirtschaftlich. Der Wirkungsgrad muß dann auf der Anlage nachgewiesen werden. Hier ist jedoch die im Prüffeld übliche Verlustbestimmung mit Hilfe eines geeichten Antriebsmotors nicht möglich. Als brauchbare Meßverfahren kommen das Auslaufverfahren und die kalorimetrischen Verfahren\* in Betracht. Von beiden Verfahrensarten wird eine hohe Meßgenauigkeit gefordert, da der Wirkungsgrad oft auf  $\frac{1}{100}\%$  genau gewährleistet werden muß. Dazu kommt, daß die Toleranz, die normalerweise 10% der Verluste beträgt, zuweilen auf 5% eingeengt wird.

Da es nun nicht der Sinn der Toleranz ist, die Meßunsicherheit aufzunehmen, muß das Meßverfahren zur Bestimmung der Verluste auf mindestens 1 bis 2% der Verluste genau sein. Bezieht man diese Meßgenauigkeit und die Verlusttoleranz von 5% auf die Maschinenleistung, so ergeben sich z. B. bei dem gewährleisteten Wirkungsgrad  $\eta_{\text{gar}} = 98,12\%$ : Verluste 1,92%, Toleranz 0,096%, Meßunsicherheit etwa 0,02 bis 0,04%. Man sieht daraus, daß die genannte Meßgenauigkeit für den gewährleisteten Wert gerade noch tragbar ist.

Wenn auch der gewährleistete Wirkungsgrad und die Meßunsicherheit bei der Turbine, die zusammen mit dem Generator das Stromaggregat bildet, um gut eine Größenordnung gröber sind, so zwingt doch die scharfe Konkurrenz den Generatorlieferanten zur Abgabe solcher genauen Werte. Das wiederum stellt hohe Anforderungen an die Meßtechnik.

Da der Nachweis des Wirkungsgrades dem Hersteller obliegt, fällt es in erster Linie ihm zu, sich zur Erhöhung der Meßgenauigkeit um die Weiterentwicklung und Verfeinerung der Verfahren zu bemühen.

Im vorliegenden Beitrag werden nach allgemeinen Betrachtungen über das Auslaufverfahren zwei Neuerungen behandelt, und zwar

- a) eine sehr genaue, direkte Bestimmung der Verzögerung unter Verwendung eines elektronischen Impulszählers,
- b) eine Abwandlung des kombinierten Motor- und Auslaufverfahrens (VDE 0530 § 58 Abs. 1 u. 3) in ein »reines Auslaufverfahren«, bei dem die wattmetrische Verlustmessung im Motorbetrieb entfällt\*.

Abschließend werden die Anwendbarkeit, die Zweckmäßigkeit des Verfahrens und der Meßaufwand einer kritischen Betrachtung unterzogen und einige Vergleiche mit den kalorimetrischen Verfahren angestellt.

### Allgemeines über das Auslaufverfahren

Die Verlustbestimmung im Auslauf beruht darauf, daß der Prüfling nach Abschalten des Antriebs durch seine Verluste stetig abgebremst wird. Dabei ist die Verzögerung für ein bestimmtes Schwungmoment und eine bestimmte Drehzahl unmittelbar ein Maß für die Verluste.

Meßtechnisch wird die Drehzahl als Funktion der Zeit aufgenommen und die Verzögerung jeweils durch Konstruktion der Tangente ermittelt (Bild 1).

Um die Konstante zum Umrechnen der Verzögerungen in Verluste, in der das Schwungmoment als Unbekannte steckt, zu erhalten, wird die Leistungsaufnahme des Prüflings im Motorbetrieb wattmetrisch bestimmt. Die Leistungsaufnahme entspricht – da die stromabhängigen Verluste in der Ständerwicklung vernachlässigbar klein sind – der Summe der Reibungs- und Eisenverluste. Stellt man diese Verluste der Verzögerung gegenüber, die sich aus einem Auslaufversuch bei gleicher Maschinenspannung ergibt, so erhält man den gesuchten Umrechnungsfaktor bzw. das Schwungmoment. Die Meßunsicherheit des Verfahrens, deren Hauptursache in der Tangentenkonstruktion zu suchen ist, beträgt etwa 2%.

### Drehzahlmessung

Die Drehzahl wird meistens durch Messung der drehzahlproportionalen Spannung einer der auf der Generatorwelle sitzenden Hilfsmaschinen (Haupterregema-

\* Beide Neuerungen, die digitale Verzögerungsbestimmung und das reine Auslaufverfahren, sind vor längerer Zeit im Großmaschinenprüffeld des Dynamowerkes erprobt worden. Auslaufmessungen nach dem Prinzip wurden bereits auf zwei Anlagen durchgeführt.



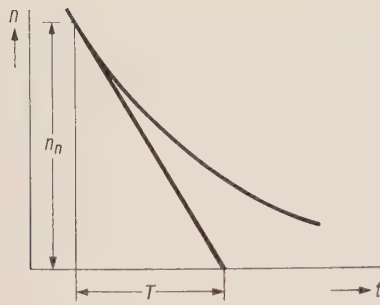


Bild 1 Konstruktion  
der Tangente  $\frac{dn}{dt} = \frac{n}{T}$

schine, Hilfserregermaschine, Wellengenerator, Pendelgenerator) ermittelt. Ob man sich dabei mit dem remanenten Feld dieser Hilfsmaschinen begnügt oder eine von außen aufgebrachte kleine Erregung benutzt, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein. Bei den Gleichstrom-Erregermaschinen, die naturgemäß nicht für Meßzwecke ausgelegt sind, macht u. a. der Bürstenübergangswiderstand Schwierigkeiten. Bei allen Hilfsmaschinen ist eine gewisse meßtechnische Erfahrung nötig, um einen gut drehzahlproportionalen, reproduzierbaren Spannungswert zu erhalten.

Sieht man von einer unmittelbaren Frequenzmessung mit einem Gerät hoher Genauigkeit ab, so ist nachfolgende Anordnung zur Drehzahlbestimmung eine bessere Lösung: An dem bei neuzeitlichen Maschinen immer vorhandenen Pendelgenerator wird ein kleiner Meßumformer – bestehend aus Synchronmotor und Gleichstromtachomaschine hoher Präzision – angeschlossen. Die mit einem Drehspulinstrument gemessene Gleichspannung ist dann der Drehzahl sehr genau proportional.

Eine weitere Verbesserung erreicht man, wenn man durch Nullpunktunterdrückung des Gleichspannungsmesswertes (z.B. durch eine einfache Zenerdiode) den interessierenden Bereich von 95 bis 105% der Nenndrehzahl auf einen großen Teil der Instrumentenskala ausdehnt. Es läßt sich so eine beachtliche Erhöhung der Ablesegenauigkeit erzielen.

### Wattmetrische Verlustmessung

Die nach dem konventionellen Verfahren im Motorbetrieb durchzuführende wattmetrische Verlustmessung erfordert Präzisions-Stromwandler niedrigen Übersetzungsverhältnisses und damit eine Erweiterung der Prüfschaltung. Als Energiequelle zum Antrieb des Prüflings während dieser Messung kommen das Netz oder ein zweites Aggregat in Betracht. Da jedoch schon die kleinsten Frequenzschwankungen des Netzes genügen, um am Prüfling hohe Leistungsspendelungen hervorzurufen, wird man zur Speisung das meistens vorhandene zweite Aggregat benutzen. Nun bedingt die Güte des Turbinenreglers dieses Aggregates die Höhe der Leistungsschwankungen. Bei neuzeitlichen Reglern sind diese Schwankungen sehr gering. Zur Erhöhung der Genauigkeit wird die Leistung über eine gewisse

Zeit mit Hilfe eines Drehstrom-Stoppzählers gemessen und mit dem Mittelwert mehrerer Wattmeterablesungen verglichen.

### Bestimmung der Verzögerung

Eine nahezu vollkommene Drehzahl- oder Verzögerungsmessung bot sich mit dem Aufkommen elektronischer Impulszähler an. Da nunmehr die Drehzahl und auch der Zeitabstand zwischen zwei Drehzahlmessungen mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden können, erhält man ohne die umständliche Tangentenkonstruktion die Verzögerung direkt und objektiv.

Durch zweckmäßige Erweiterung eines handelsüblichen Zählgerätes (Bild 2) wurde folgendes Meßverfahren entwickelt (Bild 3):

Die über Wandler entnommene Periodenlänge der Generatorspannung oder des Generatorstromes\* wird jeweils nach Verstreichen einer bestimmten Anzahl von Perioden als Zahlenwert abgelesen bzw. gedruckt. Unter Zuhilfenahme einer Hilfstafel für Reziprokwerte ( $n \sim f = 1/T$ ) erhält man nach einer kurzen Zwischenrechnung die Verzögerung (Fehler  $< 0,1\%$ ). Theoretisch ergibt sich aus den beiden Grundgleichungen für die Verlustbestimmung

$$M = 973 \frac{P_v}{n} \quad (1) \quad \text{und} \quad M = \frac{d\omega}{dt} J \quad (2)$$

$$\text{die Gleichung} \quad P_v = \frac{60 \cdot 2\pi f G D^2}{973 \cdot 4g p^2} \frac{df}{dt} \quad (3)$$

$$\text{da} \quad \omega = \frac{1}{p} \cdot 2\pi f \quad (4)$$

Der erste Ausdruck der Gleichung (3) enthält als Maschinenkonstante  $c$  das Schwungmoment; der zweite stellt den Frequenzabfall je Zeiteinheit bzw. die Verzögerung (bezogen auf die Frequenz) dar und soll hier mit  $v_f$  bezeichnet werden. Multipliziert man  $v_f$  mit  $2\pi/p$ , so erhält man die mechanische Verzögerung

$$\varepsilon = v_f \frac{2\pi}{p} \quad (5)$$

Hält man die Frequenzänderung  $\Delta f$  bzw. den untersuchten Zeitabschnitt  $\Delta t$  sehr klein, so kann man

$$\frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{df}{dt} = v_f$$

setzen. Da die beim Auslauf zunehmende Wellenlänge  $T$  der Maschinenspannung umgekehrt proportional ist, ergibt sich entsprechend Bild 3 aus der Messung der beiden Periodenlängen  $T_1$  und  $T_2$ , zwischen denen eine bekannte Anzahl von Perioden liegt, die Gleichung:

$$v_f = \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{f_1 - f_2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}{\frac{T_1 + T_2}{2}} \quad (6)$$

\* Es kann auch die Wechselspannung einer Hilfsmaschine verwendet werden, z. B. die des Pendelgenerators.

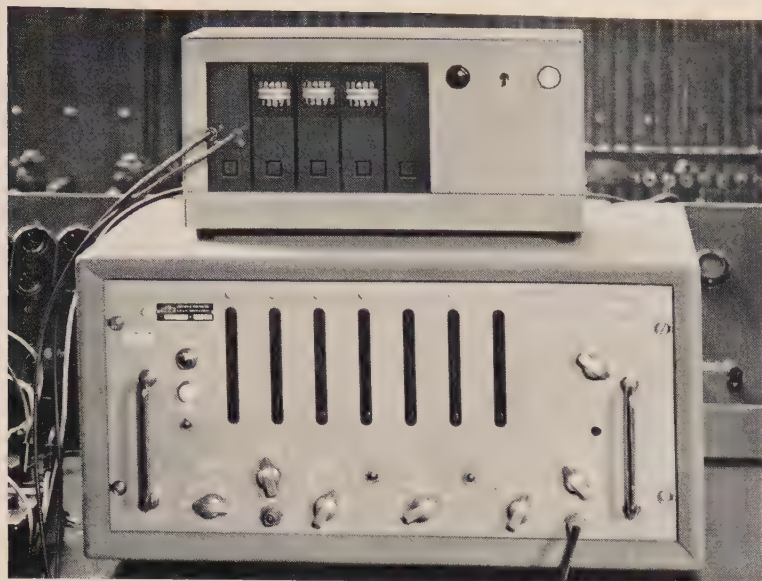


Bild 2 Kombiniertes elektronisches Zählgerät

In vereinfachter Schreibweise ist dann  $P_v = c v_f$  (7)

wobei für 50-Hz-Maschinen

$$c = 0,4935 \frac{GD^2}{p^2}$$

In den Gleichungen bedeuten:

- $M$  Drehmoment in mkg
- $P_v$  Verlustleistung in kW
- $n$  Drehzahl in U/min
- $J$  Trägheitsmoment in  $\text{kg m}^2$
- $GD^2$  Schwungmoment in  $\text{kgm}^2$
- $\omega$  Winkelgeschwindigkeit in  $\text{s}^{-1}$
- $\varepsilon$  Verzögerung, mechanisch, in  $\text{s}^{-2}$
- $T$  Periodenlänge in s
- $p$  Polpaarzahl
- $Z$  1 + Anzahl der Perioden, die zwischen  $T_1$  und  $T_2$  liegen
- $f$  Frequenz in  $\text{s}^{-1}$
- $v_f$  Verzögerung (bezogen auf die Frequenz) in  $\text{s}^{-2}$

Bei Verwendung eines Zählgerätes mit sechs Dekaden liegt die aus den zwei Messungen  $T_1$  und  $T_2$  gebildete Drehzahldifferenz bei einigen zehntel Prozent der Nenn-drehzahl. Die meßtechnisch ermittelte Sekante  $\Delta f / \Delta t$  bzw.  $\Delta n / \Delta t$  der Kurve  $n = f(t)$  ist praktisch gleich der Tangente  $dn / dt$ .

Es läßt sich nachweisen, daß auch bei der stärksten Drehzahlabhängigkeit der Verluste ( $P_v \sim n^3$ ) dieser Fehler zusammen mit den anderen Verfahrensfehlern – auf die hier nicht näher eingegangen werden soll – und dem maximalen Meßfehler des verwendeten Gerätes einen möglichen Gesamtfehler für die Verzögerung ergibt, der geringer als 0,1% ist.

## Das »reine Auslaufverfahren«

Wegen der hohen Genauigkeit der Verzögerungsbestimmung läßt sich die oftmals umständliche wattmetrische Verlustmessung im Motorbetrieb zur Ermittlung der Maschinenkonstante  $c$  bzw. des Schwungmomentes umgehen. Durch Belasten der Erregermaschine auf einen äußeren ohmschen Widerstand im Auslauf läßt sich das Schwungmoment aus den zusätzlichen Bremsverlusten  $P_{\text{zus}}$  und der Verzögerungsdifferenz gegenüber dem Auslauf ohne Belastung der Erregermaschine bestimmen.

Denn mit

$$c = \frac{P_v + P_{\text{zus}}}{v_{f1}} = \frac{P_v}{v_{f11}} \quad (9)$$

ergibt sich

$$c = \frac{P_{\text{zus}}}{v_{f1} - v_{f11}} = 0,4935 \frac{GD^2}{p^2} \quad (10)$$

Die Genauigkeit der Verlustmessung über die Gleichstromerregemaschine entspricht der beim geeichten Gleichstrom-Antriebsmotor; sie ist darüber hinaus noch etwas genauer, da die leichten Spannungsschwankungen des Gleichstromnetzes, die sich als Stromschwankungen am Antriebsmotor auswirken, wegen der Stetigkeit des Auslaufes wegfallen.

## Praktische Durchführung der Messung

Zum besseren Verständnis der zwei vorhergegangenen Abschnitte soll folgendes Beispiel dienen, das die praktische Anwendung eines elektronischen Zählgerätes zur Verzögerungsbestimmung und die Verlust- und Schwungmomentbestimmung nach dem reinen Auslaufverfahren zeigt. Als Prüfling stand eine waagerechte Drehstrom-Synchronmaschine mit starr gekuppelter Erregermaschine zur Verfügung.

Daten der Synchronmaschine: 11 kV, 1575 A, 30 MVA, 1000 U/min, 50 Hz

Daten der Erregermaschine: 200/300 V, 600/900 A, 120/270 kW, DB/10'', 1000 U/min

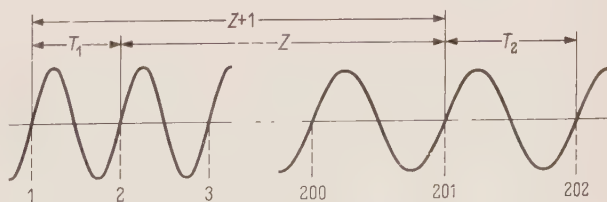


Bild 3 Zählverfahren zur Bestimmung von  $\frac{1}{n}$



Als erstes wurde ein Auslaufversuch bei unerregtem Hauptgenerator vorgenommen; die Erregermaschine war auf einen ohmschen Widerstand belastet und gab bei Nenndrehzahl und einer Klemmenspannung von 258 V eine äußere Leistung von 83,0 kW ab. Das Zählgerät zeigte beim Auslauf im Abstand von 200 Perioden folgende Periodenlängen an:

$$\begin{aligned} T_1 &= 19850,7 \mu\text{s} \\ T_2 &= 20022,9 \mu\text{s} \\ T_3 &= 20197,6 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Die Verzögerung  $v_{fI}$  errechnet sich nach Gleichung (6) wie folgt:

$$T_1 + T_2 = 39\,873,6 \mu\text{s} \quad T_2 + T_3 = 40\,220,5 \mu\text{s}$$

$$\frac{1}{T_1} = f_1 = 50,3758 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{T_2} = f_2 = 49,9424 \text{ Hz} \quad \frac{1}{T_3} = f_3 = 49,5108 \text{ Hz}$$

$$f_1 - f_2 = 0,4334 \text{ Hz} \quad f_2 - f_3 = 0,4316 \text{ Hz}$$

$$v_{fI} = \frac{2}{200} \frac{f_1 - f_2}{T_1 + T_2} = 0,10869 \text{ s}^{-2} \quad v_{f2} = 0,10731 \text{ s}^{-2}$$

Der Wert von  $v_f$  gilt jeweils für den Mittelwert der beiden Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ . Für 50-Hz-Maschinen ist dieser Mittelwert – als Drehzahl ausgedrückt – die Summe beider Frequenzen in Hz, also

$$\frac{f_1 + f_2}{2} = f_{12} \quad \text{oder} \quad f_1 \text{ in Hz} + f_2 \text{ in Hz} = n_{12} \text{ in } \%$$

$$\begin{aligned} \text{in diesem Beispiel} \quad n_{12} &= 100,3182\% n_n \\ n_{23} &= 99,4532\% n_n \end{aligned}$$

Die Interpolation\* gibt für  $n = n_n$  die Verzögerung

$$v_{fI} = 0,10818 \text{ s}^{-2}$$

Ein zweiter Auslaufversuch wurde bei ebenfalls unerregtem Hauptgenerator, jedoch bei unbelasteter Erregermaschine vorgenommen. Zur Eliminierung der Eisenverluste der Erregermaschine bei der Berechnung der zusätzlichen Bremsverluste nach Gleichung (10) war die Erregermaschine im Leerlauf auf 258 V erregt.

Das Zählgerät gab im Abstand von 400 Perioden folgende Periodenlängen an:

$$\begin{aligned} T_1 &= 19862,6 \mu\text{s} \\ T_2 &= 20054,5 \mu\text{s} \\ T_3 &= 20248,7 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Dann ist:

$$T_1 + T_2 = 39917,1 \mu\text{s} \quad T_2 + T_3 = 40303,2 \mu\text{s}$$

$$f_1 = 50,3456 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 49,8642 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 49,3858 \text{ Hz}$$

$$f_1 - f_2 = 0,4814 \text{ Hz}$$

$$f_2 - f_3 = 0,4784 \text{ Hz}$$

$$v_{fI} = \frac{2}{400} \frac{f_1 - f_2}{T_1 + T_2} = 0,06030 \text{ s}^{-2} \quad v_{f2} = 0,05935 \text{ s}^{-2}$$

$$v_{fI} \text{ gilt für } n = 100,2098\% n_n \quad v_{f2} \text{ für } n = 99,2500\% n_n$$

\* Der durch die Interpolation entstehende Fehler ist sehr klein und wurde bei der Ermittlung des Verfahrensfehlers berücksichtigt.

Interpoliert man auf Nenndrehzahl, so ergibt sich

$$v_{fII} = 0,06010 \text{ s}^{-2}$$

Die Differenzverzögerung  $v_{fI} - v_{fII} = 0,04808 \text{ s}^{-2}$  wird nach Gleichung (10) durch die zusätzlichen Bremsverluste  $P_{\text{zus}}$  bewirkt. Dieser Wert setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\text{a) abgegebene Klemmenleistung} \quad UI = 83,0 \text{ kW}$$

$$\text{b) ohmsche Verluste in der Hauptstromwicklung bei } 40^\circ\text{C} \quad (r_{20} = 16,86 \text{ m}\Omega) I^2 r_{40} = 1,89 \text{ kW}$$

$$\text{c) Zusatzverluste} \quad (I/I_n)^2 \cdot 0,01 N_n = 0,33 \text{ kW}$$

$$\text{d) Bürstenübergangsverluste} \quad 2I = 0,64 \text{ kW}$$

$$\text{zusätzliche Bremsverluste} \quad P_{\text{zus}} = 85,86 \text{ kW}$$

Man erhält jetzt nach Gleichung (10) die Umrechnungskonstante

$$c = \frac{P_{\text{zus}}}{v_{fI} - v_{fII}} = \frac{85,86}{0,04808} = 1780$$

und das Schwungmoment des Aggregates

$$GD^2 = \frac{c p^2}{0,4935} = \frac{1780 \cdot 9}{0,4935} = 32500 \text{ kg m}^2$$

In der geschilderten Art werden nunmehr nach Gleichung (7) und durch Ermittlung der jeweiligen Verzögerung  $v_f$  die Reibungsverluste des Aggregates (ohne die Eisenverluste in der Erregermaschine), die Eisenverluste und die Kurzschlußverluste des Hauptgenerators bestimmt. Aus den Einzelverlusten wird schließlich der Wirkungsgrad in der bekannten Weise berechnet.

### Kritische Abschlußbetrachtung

Bei der Gegenüberstellung des »reinen Auslaufverfahrens« und des konventionellen »Motor- und Auslaufverfahrens« ergeben sich für das erstgenannte Verfahren außer größerer Genauigkeit und Bequemlichkeit ein geringerer Aufwand an Meßgeräten und Hilfsmitteln und eine einfachere Meßschaltung. In den Fällen, in denen die Turbine bei Nenndrehzahl entwässert werden kann (Übernahme der Antriebsleistung durch das elektrisch gekuppelte zweite Aggregat) könnte man sogar auf die zwei getrennten Erregerumformer verzichten, die sonst bei Maschinen mit starr gekuppelter Erregermaschine zum Frequenzhochlauf und zur Konstanthaltung der Erregung während des Auslaufs nötig sind. Bei Verwendung der starr gekuppelten Erregermaschine zur Erregung des Generators wird zwar die Drehzahlabhängigkeit der zu messenden Verluste um eine Potenz erhöht – stärkere Krümmung der Kurve  $n = f(t)$  –, jedoch wird die Genauigkeit des beschriebenen Meßverfahrens nur unwesentlich verringert.

Ein allgemeiner Nachteil des Auslaufverfahrens ist, daß die Luftreibungsverluste des Turbinenlaufrades und die Reibungsverluste eines nicht zum Liefer-

umfang des Generatorlieferanten gehörigen Lagers in den gemessenen Gesamtreibungsverlusten enthalten sind. Vielfach werden dann bei der Wirkungsgradaufrechnung die vom Turbinenlieferanten angegebenen Rechenwerte dieser Verluste abgesetzt, ein Verfahren, das nicht befriedigt. Zur Eliminierung der Turbinenverluste wird in einigen Fällen das Turbinenlaufrad abgekuppelt. In anderen Fällen ist der durch den unsicheren Rechenwert entstehende Fehler tragbar, wenn die Turbinenverluste nur einen geringen Anteil der Gesamtreibung ausmachen, z. B., wenn bei Kaplan- und Peltonrädern nur die Luftreibung abgesetzt werden muß und alle anderen Reibungsverluste dem Generatorlieferanten zufallen. In strittigen Fällen und überall dort, wo der Fehler zu groß werden würde, sollte man die dem Generatorlieferanten zufallenden Reibungsverluste kalorimetrisch bestimmen.

Diesem Nachteil des Auslaufverfahrens steht der Vorteil gegenüber, daß die einzelnen Meßwerte in kurzer Zeit gewonnen werden. Auch die Aufnahme einer Meßwertreihe zur Ermittlung der Eisenverluste, abhängig von der Induktion, macht keine Schwierigkeiten. Der Nachweis des gewährleisteteten Schwungmomentes ist nur mit dem Auslaufverfahren möglich.

Beim Nachweis des Wirkungsgrades muß von Fall zu Fall entschieden werden, welches der beiden Verfahren – Auslaufverfahren oder kalorimetrische Messung – angewendet werden soll oder ob eine Kombination beider Verfahren in Betracht kommt. Über die angedeuteten meßtechnischen Gesichtspunkte hinaus werden die Turbinenart, die Schwierigkeit der Turbinenentwässerung, die Art der Maschinenkühlung bzw. des Kühlmittels und andere örtlich gegebene Faktoren bei der Auswahl des Meßverfahrens berücksichtigt werden müssen.

## Anwendung einer Thermowaage für Untersuchungen bei der SIFERRIT-Herstellung

VON HELMUT RABL

Eine Thermowaage ist ein Gerät, mit dem man Körper aufheizen und dabei ihr Gewicht messen kann. Man hat so die Möglichkeit, physikalische oder chemische Umwandlungen zu erfassen, die oberhalb der Raumtemperatur ablaufen und mit einer Gewichtsänderung der Probe verbunden sind. Man kann die Temperatur, die Dauer und die Menge der Umwandlungen feststellen. Dadurch gewinnt man z. B. Aussagen über die Austreibung von Feuchtigkeit und Bindemitteln aus Körpern und die Zersetzung von Stoffen unter Gasabgabe; auch die Oxydation oder Reduktion von Substanzen kann – indirekt – beobachtet werden. Das Untersuchungsverfahren wird als gravimetrische Analyse bezeichnet.

### Aufgabe und geforderte Eigenschaften

Die hier beschriebene Thermowaage wurde besonders für die Klärung von Problemen entwickelt, die bei der Ferritherstellung auftreten.

Ferrite sind Stoffe der Zusammensetzung  $\text{MeOFe}_2\text{O}_3$ , wobei Me ein zweiwertiges Metall darstellt. Hergestellt werden Körper aus Ferrit, indem die entsprechende Mischung der Ausgangsstoffe, mit Binde- und Gleitmittel vermischt, in die gewünschte Form gepreßt wird. Als Ausgangsstoffe werden die Metalloxyde selber oder Verbindungen verwendet, die beim Erhitzen in Oxyde übergehen (z. B. Karbonate). Die Binde- und Gleitmittel werden meistens in einem eigenen Arbeitsgang, der sogenannten Entkohlung, verflüchtigt. Erst dann folgt die eigentliche Sinterung im Stand- oder Durchstoßofen. Die Sintertemperatur liegt im allgemeinen zwischen 1200 und

1400 °C. Oft muß die Atmosphäre im Ofenraum während des Sintervorganges gesteuert werden, damit der Sauerstoffhaushalt des Ferrits in der gewünschten Weise festgelegt wird. Die magnetischen Eigenschaften des fertigen Stoffes hängen nämlich außer von der Zusammensetzung noch stark von der Wertigkeit der einzelnen Metalle ab.

Eine zweckentsprechende Thermowaage muß demnach folgende Eigenschaften haben:

Es müssen Temperaturen bis mindestens 1400 °C erreicht werden können.

Die Proben müssen in definierter, wählbarer Atmosphäre gehalten und gemessen werden können.

Es muß möglich sein, verschiedene Sinterprogramme nachzubilden; es muß also außer dem Aufheizen auch das Abkühlen der Proben regelbar sein.

Die Meßgenauigkeit der relativen Gewichtsänderung soll möglichst groß sein (mindestens 0,1%/<sub>00</sub>).

### Beschreibung des Gerätes

Das Gerät besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen:

Doppelarmige Torsionswaage

Doppelrohrföfen

Regel- und Bedienungseinrichtung für die Heizung des Ofens

Mechanismus zum Ein- und Ausfahren der Probe

Wägeautomatik

Temperaturmeßeinrichtung

Gasleitungsanlage

Bild 1 veranschaulicht die Anordnung der einzelnen Teile.



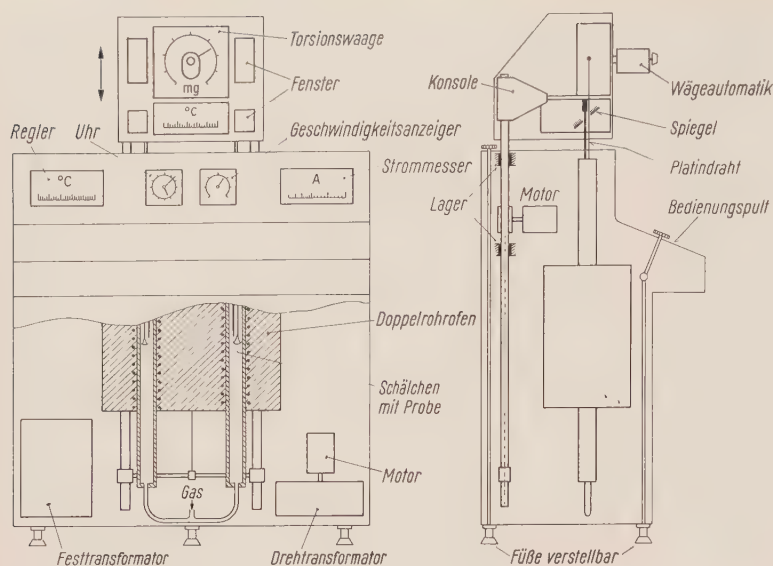


Bild 1 Aufbau der Thermowaage mit den wesentlichen Bauteilen

Der elektrische Ofen ist eine Spezialausführung. Die beiden Heizwicklungen sind im Betrieb parallelgeschaltet. Ihre aufgenommene Leistung beträgt etwa 4 kW. Da die Wicklungen bei voller Leistung nur eine Spannung von 60 V benötigen, mußte außer einem Drehtransformator für die Regelung noch ein Festtransformator mit einem Übersetzungsverhältnis von etwa 3,5:1 vorgesehen werden. Die Temperatur im Ofen kann mit Hilfe eines Reglers konstant gehalten werden. Die Regelung wurde als Teilaussatzregelung ausgeführt, indem im Regelzustand die Netzspannung einmal an die 220-V-Anzapfung des Drehtransformators, das andere Mal an das 260-V-Ende gelegt wird (s. Bild 2). Dadurch wird die Heizleistung unabhängig von der Stellung des Drehtransformatorarmes um etwa 35% verändert. Dabei muß man, wie bei jeder Teilaussatzregelung, die mittlere Heizleistung der jeweiligen Temperatur anpassen; die Werte müssen experimentell bestimmt werden.

Zwei in Richtung der Längsachse bewegliche Präzisionsstahlrohre tragen eine Konsole, auf der die Waage mit Wägeautomatik, ein Temperaturmeßinstrument und zwei Thermolemente (umschaltbar) befestigt sind. Diese Thermolemente laufen parallel mit den beiden Platindrähten, an denen die Waageschälchen aufgehängt sind, und reichen somit stets fast bis zur Probe. Die Temperatur der Probe kann also unabhängig davon, an welcher Stelle sie sich im Ofen befindet, bestimmt werden. Für die Regelung des Ofens ist ein drittes Thermolement vorgesehen, das stets die Temperatur der Mittelzone des Ofens anzeigt. Das Ein- und Ausfahren der Probe geschieht mit Hilfe eines Servomotors. Der Motor hat ein stufenlos regelbares Vorsatzgetriebe, so daß man die Geschwindigkeit des Auf- und Abfahrens zwischen 1 und 35 cm/min einstellen kann. Unter Ausnutzung der

Temperaturverteilung im Ofen ist es somit möglich, jedes gewünschte Aufheiz- und Abkühlprogramm zu verwirklichen.

Die Probe befindet sich beim Meßvorgang in einem gasdichten Rohr, das oben und unten 25 cm aus dem Ofen herausragt. Am unteren Ende dieses Rohres ist eine Gasleitung angeflanscht, oben ist die Öffnung des Rohres bis auf einen Schlitz abgedeckt. Die Abdeckung dient gleichzeitig auch als Schutzblende gegen die Wärmestrahlung. Der Schlitz muß wegen des Thermolements und des Drahtes, an dem die Probe hängt, vorhanden sein.

Beim Ausfahren muß jedoch, bevor das Waageschälchen den oberen Rand des Rohres erreicht, die Schlitzblende beiseite geschoben werden. Dies geschieht automatisch, damit durch Unachtsamkeit bei der Bedienung nichts beschädigt wird.

Wenn die Probe ganz ausgefahren worden ist, kann mit Hilfe eines Hebels die Öffnung des Rohres vollständig verschlossen werden. Auch die Schlitzblende läßt sich von Hand betätigen; dies ist nötig, wenn man die im Rohr befindliche Probe beobachten will. Man kann das mit Hilfe eines (wegen Aufhängedraht und Thermolement) durchbohrten Spiegels, der außerhalb des Rohres 45° zur Rohrachse geneigt angebracht ist (s. Bild 1).

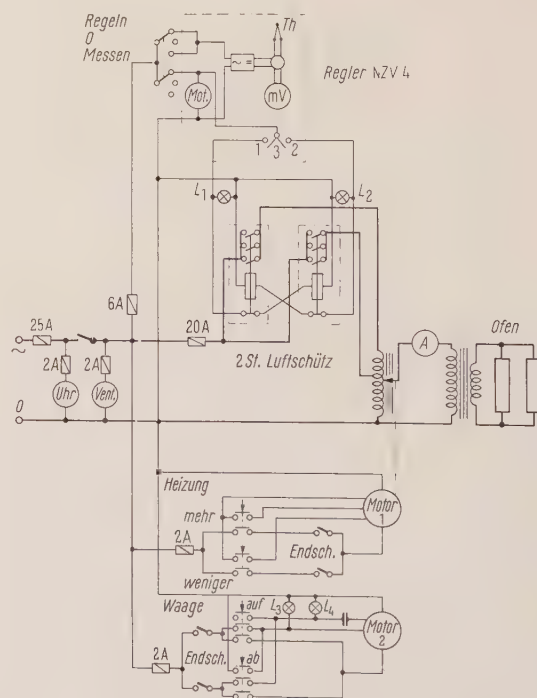


Bild 2 Elektrische Schaltung der Thermowaage

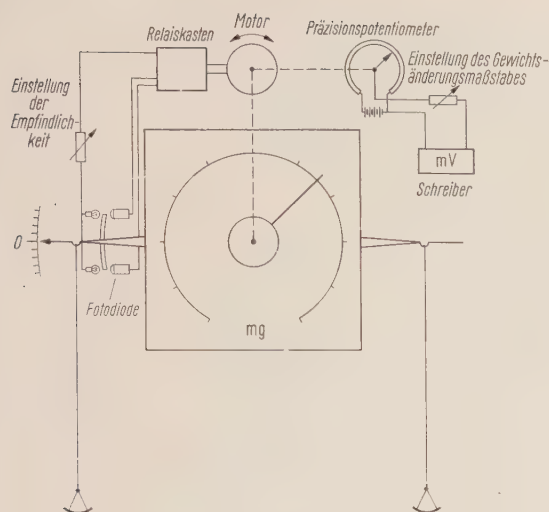


Bild 3 Wägeautomatik der Thermowaage

Um die Probe in definierter Atmosphäre wägen zu können, muß ständig Gas mit der gewünschten Zusammensetzung durch das Rohr strömen. Damit hierbei durch allenfalls auftretende Strömungswiderstände die Wägung nicht beeinträchtigt wird, wurde die Anlage symmetrisch aufgebaut, wie Bild 1 zeigt. Die beiden Schälchen müssen möglichst gleiche geometrische Form haben. In einem von ihnen befindet sich die Meßsubstanz, das andere ist leer oder mit inaktivem Material gefüllt. Wie die Praxis zeigt, können bei dieser Ausführung auch verhältnismäßig große Strömungsgeschwindigkeiten keinen merkbaren Fehler hervorrufen. Es sind Anschlüsse für drei verschiedene Gase vorgesehen. Mit Nadelventilen können die zugeführten Gasmengen einzeln geregelt und somit auch definierte Mischungen erzeugt werden. Auf den Einbau von Durchflußmessern in die Thermowaage selbst wurde wegen der Mannigfaltigkeit der in Betracht kommenden Gase und Mischungsverhältnisse

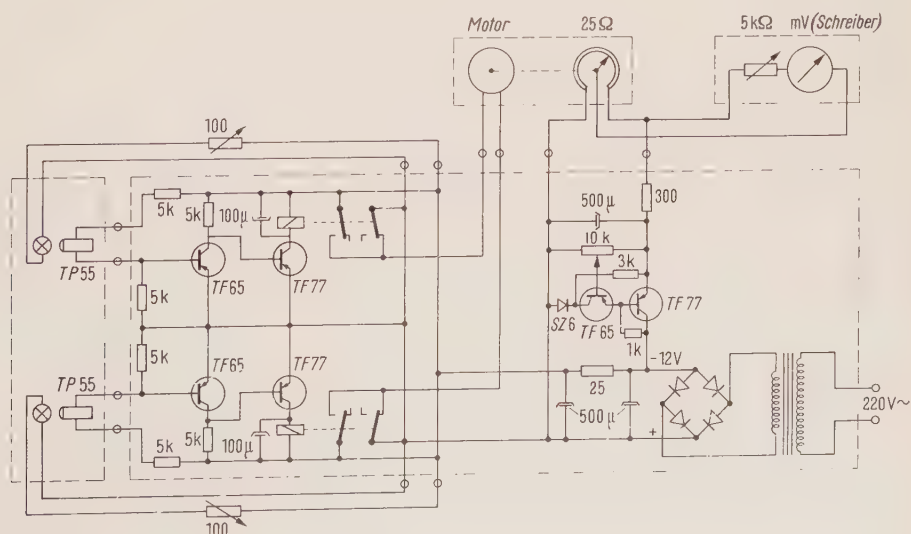
verzichtet; sie können wahlweise außen vorgeschaltet werden.

Die Waage selbst ist eine Torsionswaage mit einer Tragkraft von 10 g und einer Ablesegenauigkeit von 1 mg. Nutzt man die Belastbarkeit voll aus, so kann man noch relative Gewichtsänderungen von  $0,1\%$  feststellen.

Um Gewichtsänderungen der Probe selbsttätig aufzeichnen zu können, wurde an der Waage zusätzlich eine Wägeautomatik angebracht. Bild 3 zeigt das Prinzip dieser Wägeautomatik: Bei einer Abweichung von der Nulllage wird eine Lichtschranke unterbrochen und dadurch ein Motor in Tätigkeit gesetzt, der den Abgleichknopf der Waage so lange zurückdreht, bis die Nulllage wieder erreicht ist; gleichzeitig wird auch der Schleifer eines Präzisionspotentiometers verstellt; an diesem Potentiometer liegt eine stabilisierte Spannung, und somit erhält man am Schleifer eine der Gewichtsänderung proportionale Spannung, die an einen Schreiber gelegt werden kann. Wird ein Mehrfarbschreiber verwendet, so besteht die Möglichkeit, Temperatur und Gewichtsänderung als Funktion der Zeit aufzuzeichnen.

Bild 4 zeigt die Elektronik der Wägeautomatik. Die beiden Lichtschranken bestehen aus je einem Lämpchen und einer Fotodiode TP 55. Diese Fotodiode steuert mit Hilfe eines zweistufigen Transistor-Gleichstromverstärkers ein Relais: Wird der Lichtstrom unterbrochen, so zieht das Relais an. Die Ansprechempfindlichkeit der Wägeautomatik kann geregelt werden, indem man die Helligkeit der Lämpchen verändert. Der Motor läuft links oder rechts herum, je nachdem, welches Relais angezogen hat. Nach dem Abfall des Relais wird der Motor kurzgeschlossen; dadurch wird er möglichst rasch abgebremst, und es kann zu keiner Schwingung um die Nulllage kommen. Die Spannung, die an das Präzisionspotentiometer gelegt wird, ist elektronisch stabilisiert (Zenerdiode SZ 6 und Transistoren TF 65 und TF 77).

Bild 4 Elektronik der Wägeautomatik





Es ist nicht notwendig, die Versorgungsspannung für die Lämpchen und die beiden Verstärker zu stabilisieren. Mit einem Vorwiderstand kann der Gewichtsänderungsmaßstab auf dem Registrierpapier des Schreibers unmittelbar in Prozent geeicht werden (abhängig von der Einwaage).

Bild 5 zeigt die fertige Thermowaage. Die Pultfläche enthält folgende Einrichtungen:

- Hauptschalter
- Schalter für Reglerfunktion (»Regeln«, »Aus«, »Messen«)
- Nadelventile für Gasstromregelung
- Drucktastenaggregat (Heben und Senken der Waage, Einstellen der Heizleistung)
- Drehknöpfe für die Horizontaljustierung des ganzen Gerätes (s. dazu Bild 1)
- Schreibpult

Die Meßinstrumente, die gut ablesbar sein müssen, befinden sich ungefähr in Augenhöhe; es sind:

- Strommesser für Heizstrom
- Temperaturregler
- Elektrische Uhr
- Vorrichtung mit Meßzeiger für die Geschwindigkeitsregelung des Ein- und Ausfahrens der Probe
- Temperaturmeßinstrument
- Torsionswaage

Die Anschlüsse für die Gaszuleitungen und der Sicherungskasten sind bei der rechten Seitenwand zugänglich. Der Innenraum des Hauptgehäuses der Thermowaage ist unterteilt. Unten befinden sich die wärmeerzeugenden Teile (Ofen, Transformator). Der obere Raum, in den u.a. auch Meßinstrumente hineinragen, wird mit Hilfe eines Ventilators gekühlt, so daß die Temperatur in ihm unter 40 °C gehalten werden kann.

### Beispiele von Messungen

Als erstes Beispiel sollen die bei der Herstellung eines Manganferrits auftretenden Vorgänge gravimetrisch analysiert werden.

Mangan ist ein Metall, das verschiedene Wertigkeiten annehmen kann; im reinen Manganferrit soll es im Endzustand zweiwertig vorliegen. Ausgegangen wird von einer Mischung 50 Mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  + 50 Mol%  $\text{MnCO}_3$ . Bild 6 zeigt nun den Verlauf der Gewichtsänderung, wie er beim gleichmäßigen Aufheizen dieser Substanz in Luft auftritt. Schon bei Temperaturen knapp oberhalb der Raumtemperatur ist eine Gewichtsabnahme zu verzeichnen. Diese ist vorerst nur durch die Abgabe von Feuchtigkeit und Kristallwasser bedingt. Bei etwa 200 °C beginnt die Zersetzung des Mangankarbonats; infolge des Verlustes von Kohlenoxyd\* wird die Probe merklich leichter. Bei 500 °C ist dieser Prozeß praktisch abgeschlos-

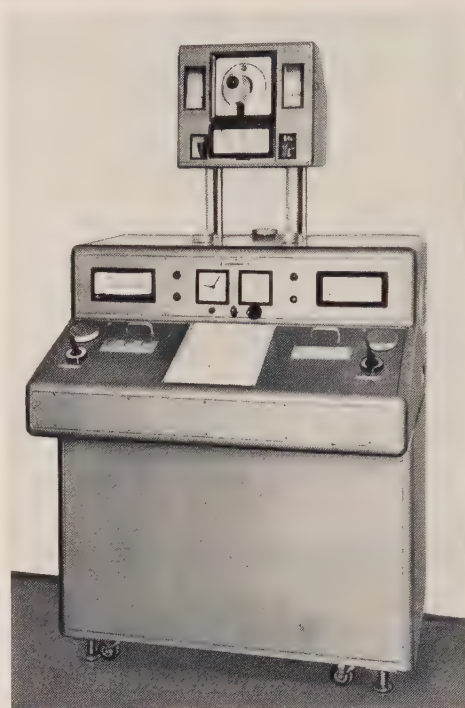


Bild 5  
Thermowaage

sen, doch hat nun bereits eine Reduktion des  $\text{MnO}_2$  zu  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  begonnen. Das Mangan-III-Oxyd ist bis zu 900 °C beständig. Wird die Temperatur darüber hinaus erhöht, so geht die Reduktion weiter. An jener Stelle, die

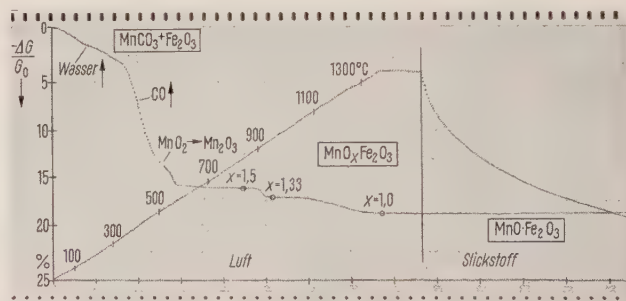


Bild 6 Gravimetrische Analyse des Herstellungsvorganges eines Manganferrits

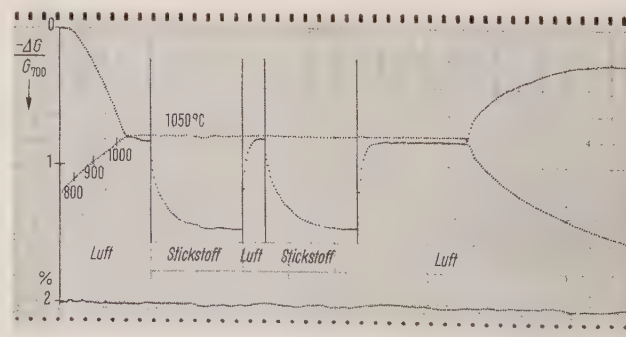


Bild 7 Reduktion oder Oxydation eines Mangan-Zink-Ferrits beim Wechseln der Atmosphäre

\*  $\text{MnCO}_3$  dürfte hauptsächlich in  $\text{MnO}_2$  und CO zerfallen.

der Zusammensetzung  $\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{Fe}_2\text{O}_3)_3$  entspricht, tritt noch einmal ein Haltepunkt auf. Erst oberhalb  $1350^\circ\text{C}$  ist das Mangan praktisch restlos in den zweiwertigen Zustand übergeführt. Will man ihn erhalten, so muß man in sauerstofffreier Atmosphäre abkühlen, damit bei tieferen Temperaturen keine Oxydation mehr auftreten kann.

Das nächste Beispiel (Bild 7) zeigt, wie der Oxydationsgrad eines Mn-Zn-Ferrits (SIFERRIT\* 550 M 25) von der Temperatur und vom Sauerstoffpartialdruck der Atmosphäre abhängt. Bei  $700^\circ\text{C}$  hat dieses Ferrit den höchsten Oxydationsgrad. Wird es weiter erwärmt, so findet eine Reduktion des Mangans und auch eines Teiles des Eisens (es sind mehr als 50 Mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vorhanden) statt. Unterbricht man das Aufheizen bei einer bestimmten Temperatur (hier  $1050^\circ\text{C}$ ), so stellt sich nach einiger Zeit ein Gleichgewicht ein. Leitet man dann plötzlich Stickstoff in den Ofenraum ein, so wird mit einer Zeitkonstante  $\tau_1$  ein neuer Gleichgewichtszustand eingenommen; wechselt man nochmals auf Luft, so stellt sich wieder das Ausgangsgewicht ein, jetzt aber mit der Zeitkonstante  $\tau_2$ , wobei  $\tau_2$  ungefähr fünfmal kleiner als  $\tau_1$  ist. Wiederholt man diese Behandlung, so bemerkt man, daß die Zeitkonstanten nun etwas größer sind. Das Ferrit ist, da es bereits einige Stunden auf  $1050^\circ\text{C}$  war, weiter zusammengesintert, d. h. dichter geworden, so daß der Sauerstoffaustausch jetzt langsamer vor sich geht.

Als letztes Beispiel soll die Austreibung des Bindemittels (Entkohlung) von Ferritpreßlingen gezeigt werden (Bild 8). Für die Mischung wurden Oxyde gewählt, die ihr Gewicht bis zu hohen Temperaturen nicht ändern, so daß die auftretenden Gewichtsänderungen nur eine Folge der Verflüchtigung des Bindemittels sind. Als Bindemittel wurde Polyvinylalkohol verwendet.\*\* Bei tiefen Temperaturen wird vorerst Wasser abgegeben, doch schon bei etwa  $150^\circ\text{C}$  beginnt die Ver-

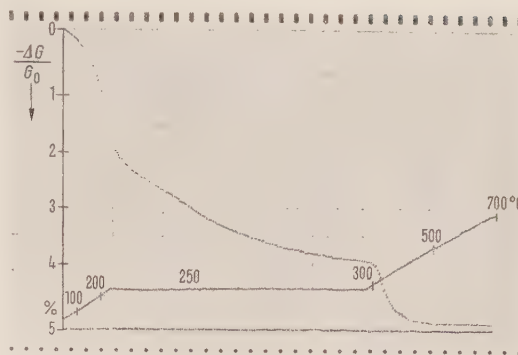


Bild 8 Entkohlung eines mit Polyvinylalkohol gepreßten Nickel-Zink-Ferritkernes

brennung des Polyvinylalkohols. Heitze man mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter, so würde die Verbrennung schließlich so schnell vorangehen, daß infolge der frei werdenden Verbrennungswärme und der Stauung von gasförmigen Verbrennungsprodukten Risse im Kern entstünden. Die Entkohlung muß daher entsprechend gesteuert werden. Wie die Kurve (s. Bild 8) zeigt, geht die Entkohlung auch dann weiter, wenn die Temperatur konstant gehalten wird. Erst nach einigen Stunden wird weitergeheizt. Nun verbrennen die schwereren Kohlenwasserstoffe. Von  $500^\circ\text{C}$  an ist keine Gewichtsänderung mehr festzustellen; die Entkohlung ist beendet.

Diese wenigen Beispiele lassen erkennen, welche Möglichkeiten die Thermowaage eröffnet. Zusammen mit chemischen und magnetischen Untersuchungen können viele wichtige Fragen gelöst werden, die bei der Ferritherstellung auftreten.

\* Eingetragenes Warenzeichen

\*\* Deutsches Bundespatent vom 22. 11. 1960 (S 10878 IV c/80 b)

## Über die Blindleistung beim Stromrichter mit Nullanoden für Gleichstrom-Fördermaschinen

VON HEINRICH GEISSING UND GOTTFRIED MÖLTGEN

### Blindleistung bei normaler Stromrichtersteuerung

Die stoßweise Belastung eines Stromrichters hat Blindlaststöße im speisenden Netz zur Folge, deren zulässige Höhe bei der Planung einer Stromrichteranlage beachtet werden muß. Die Höhe eines solchen Blindlaststoßes läßt sich aus der »Blindleistungsfunktion« (Bild 1) bestimmen. Sie gilt für Stromrichter mit normaler Steuerung und ist unter den bei der theoretischen Behandlung

der Stromrichterschaltungen [1] üblichen Annahmen – gute Glättung des Gleichstromes und vernachlässigte Verluste in Ventilen und im Transformator – berechnet. Bild 2 soll die Spannungs- und Stromverhältnisse bei verschiedenen Steuerwinkeln  $\alpha$ , aber gleichem Gleichstrom  $I_d$  für einen dreipulsigen Stromrichter in Erinnerung bringen und zeigt oben die Bildung der Gleichspannung mit dem Mittelwert  $U_{d\alpha}$  und in der Mitte den zeitlichen Verlauf eines Ventilstromes  $i$ .



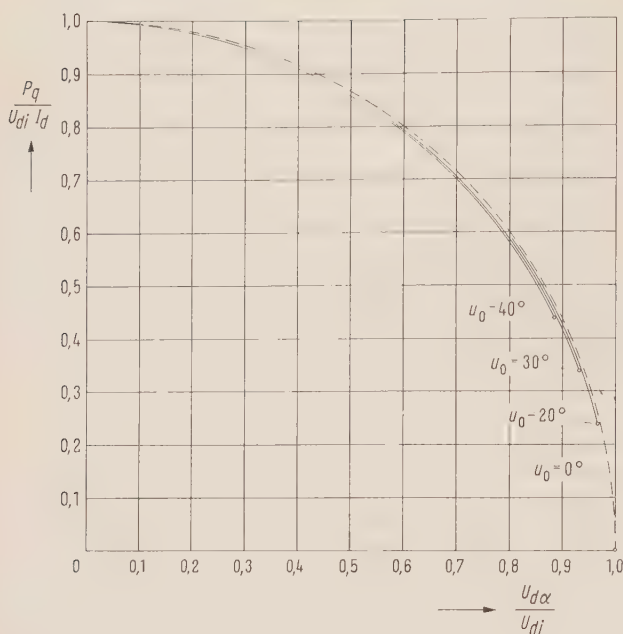


Bild 1 Blindleistungsfunktionen des Stromrichters mit normaler Steuerung für verschiedene Anfangsüberlappungswinkel  $u_0$

Während der Kommutierungszeit, gekennzeichnet durch den Überlappungswinkel  $u$ , führen die beiden sich in der Stromführung ablösenden Ventile gleichzeitig Strom. Die fast immer verwendete Saugdrosselschaltung besteht aus zwei dreipulsigen Stromrichtern, die um  $180^\circ$  elektrisch gegeneinander versetzt sind und über einen induktiven Spannungsteiler, die Saugdrossel, parallel arbeiten.

Bei voller Aussteuerung ( $\alpha = 0$ ) hat  $u$  den Wert  $u_0$ , er ergibt sich für die Saugdrosselschaltung beim Nenn-

strom  $I_{dN}$  aus der Kurzschlußspannung  $u_K$  des Stromrichtertransformators (bei Vernachlässigung der Netzreaktanzen) aus

$$\cos u_0 = 1 - u_K \quad (1)$$

Bei von  $I_{dN}$  abweichenden Gleichstromwerten  $I_d$  ist

$$\cos u_0 = 1 - \frac{I_d}{I_{dN}} u_K \quad (2)$$

und für einen bestimmten Wert  $u_0$  ergibt sich  $u$  im gesteuerten Betrieb aus

$$\cos \alpha - \cos (\alpha + u) = 1 - \cos u_0 \quad (3)$$

Während der Kommutierung folgt der zeitliche Verlauf der Gleichspannung dem Mittel der beiden an der Kommutierung beteiligten Sternspannungen des Transformators, dabei entsteht die auf die ideelle Leerlaufgleichspannung  $U_{di}$  bezogene Spannungsänderung

$$d_x = \frac{1}{2} (1 - \cos u_0) \quad (4)$$

Der auf  $U_{di}$  bezogene Mittelwert der Gleichspannung  $U_{d\alpha}$  ist mit den Gleichungen (3) und (4)

$$\frac{U_{d\alpha}}{U_{di}} = \frac{U_{di\alpha}}{U_{di}} - d_x = \frac{1}{2} \left[ \cos \alpha + \cos (\alpha + u) \right] \quad (5)$$

Dabei wird unter

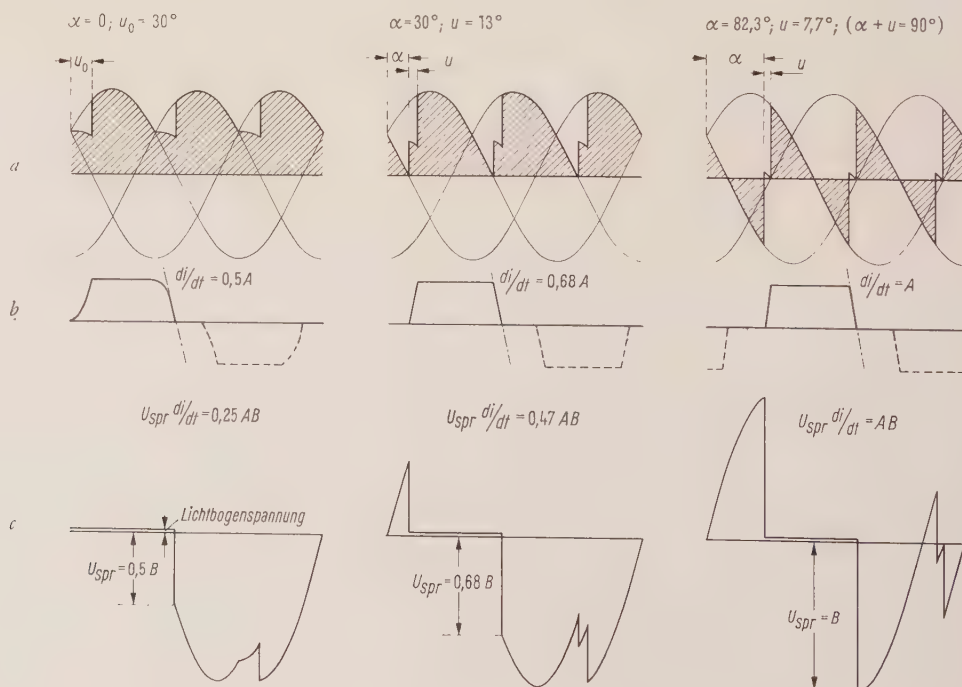
$$U_{di\alpha} = U_{di} \cos \alpha \quad (6)$$

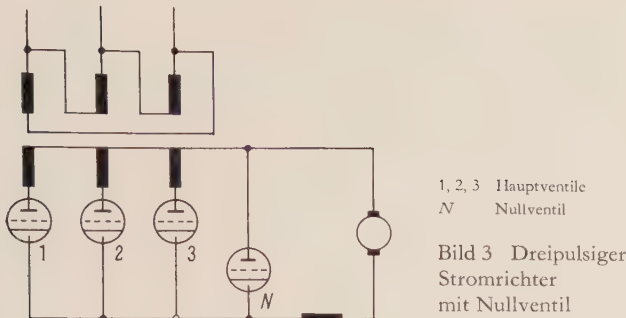
der ideelle Gleichspannungsmittelwert beim Steuerwinkel  $\alpha$  im Leerlauf verstanden.

In Bild 2 ist angedeutet, wie – entsprechend einem Ventilstrom und einem Ventilstrom des anderen Teilsystems der Saugdrosselschaltung – der wechselstromseitige Strom im Transformator verläuft. Die Berech-

- a Ungeglättete Gleichspannung
- b Strom in einem Ventil
- c Spannung Anode-Kathode an diesem Ventil

Bild 2 Zeitliche Verläufe bei einem dreipulsigen Stromrichter





1, 2, 3 Hauptventile  
N Nullventil

Bild 3 Dreipulsiger Stromrichter mit Nullventil

nung der Grundschwingung dieses Stromes ergibt seine Wirk- und seine Blindkomponente. Aus der letztgenannten läßt sich die Blindleistung  $P_q$  berechnen, und man erhält, bezogen auf die ideelle Stromrichterleistung  $U_{di} I_d$ ,

$$\frac{P_q}{U_{di} I_d} = \frac{2u + \sin 2\alpha - \sin 2(\alpha + u)}{4(1 - \cos u_0)} \quad (7)$$

Dieser Ausdruck in Abhängigkeit von  $U_{d\alpha}/U_{di}$  aus Gleichung (5) ergibt mit  $u_0$  als Parameter die in Bild 1 dargestellten Kurven. Jede gilt entsprechend der Gleichung (2) für einen bestimmten, auf den Nennstrom bezogenen Gleichstrom  $I_d/I_{dN}$ . Die Kurven sind angenähert Bogenstücke des Einheitskreises, die Kurve für  $u_0 = 0$  ist exakt ein Viertelkreis. Im Bild ist nur der Bereich positiver Gleichspannung (Gleichrichterbetrieb) gezeigt, für Wechselrichterbetrieb verlaufen die Kurven symmetrisch zur Ordinate.

Beim Anfahren einer stromrichtergespeisten Maschine unter hoher Last, wie es besonders bei Fördermaschinen kennzeichnend ist, treten also die höchsten Blindlastspitzen auf.

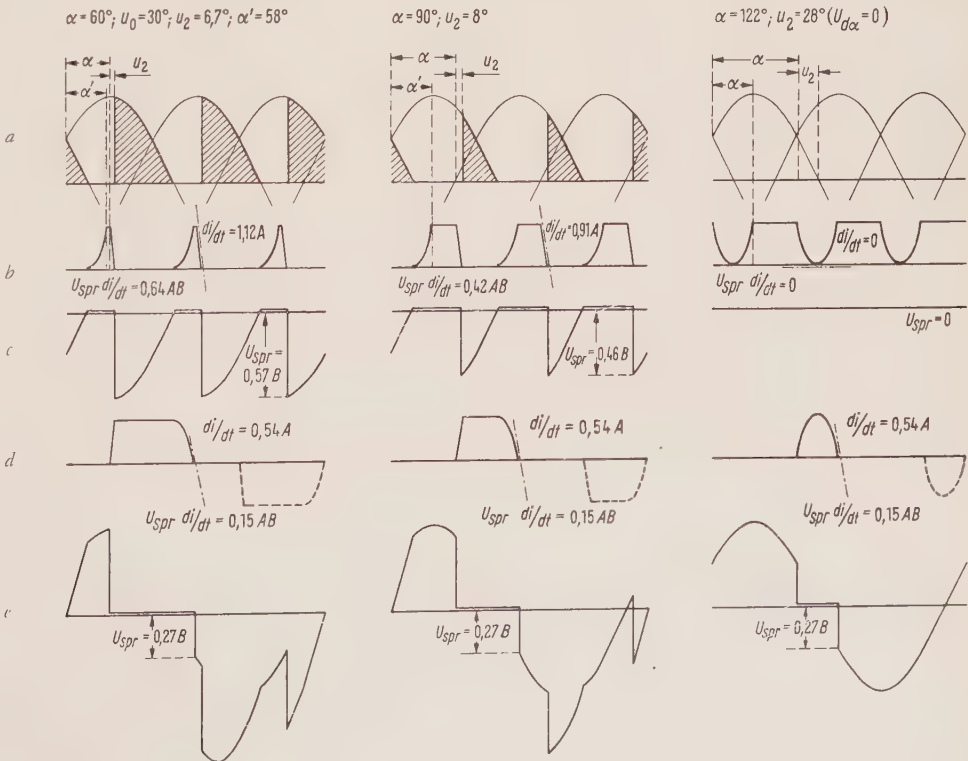
Blindleistung bei Nullanodenschaltung

Die hohen Blindlaststöße bei plötzlicher Belastung eines Stromrichters im Bereich niedriger Aussteuerung können wesentlich verringert werden, wenn der Stromrichter mit Nullanoden ausgerüstet ist. Die Nullanodenschaltung ist seit langem bekannt [2] und in Bild 3 für dreipulsigen Betrieb dargestellt. Der Stromrichter ist vor der Glättungsdrossel durch ein zusätzliches Ventil überbrückt. Seine Anode liegt am »Nullpunkt« des Transformators, daher ist die Bezeichnung »Nullanode« oder »Nullventil« entstanden. Das ständig geöffnete Nullventil übernimmt immer dann den Strom, wenn der Augenblickswert der Gleichspannung negativ zu werden beginnt, weil dann seine Anode gegenüber der Kathode ein höheres Potential hat als die Anode des Hauptventiles; es führt Strom, bis das nächste Hauptventil gezündet wird. Je größer  $\alpha$  wird, um so mehr Strom fließt über das Nullventil und um so kürzer wird die Stromführungsdauer der Hauptventile. Damit wird auch der Transformatorstrom und gleichzeitig seine Blindkomponente kleiner, der Blindleistungsbedarf des Stromrichters sinkt also.

Bild 4 zeigt analog zu Bild 2 die Gleichspannung und die Ventilströme bei einer Nullanodenschaltung nach Bild 3; man erkennt die Kommutierungen zwischen Haupt- und

a Ungeglättete Gleichspannung  
b Strom im Nullventil  
c Spannung Anode-Kathode am Nullventil  
d Strom in einem Hauptventil  
e Spannung Anode-Kathode an diesem Hauptventil

Bild 4 Zeitliche Verläufe bei einem dreipulsigen Stromrichter mit Nullventil





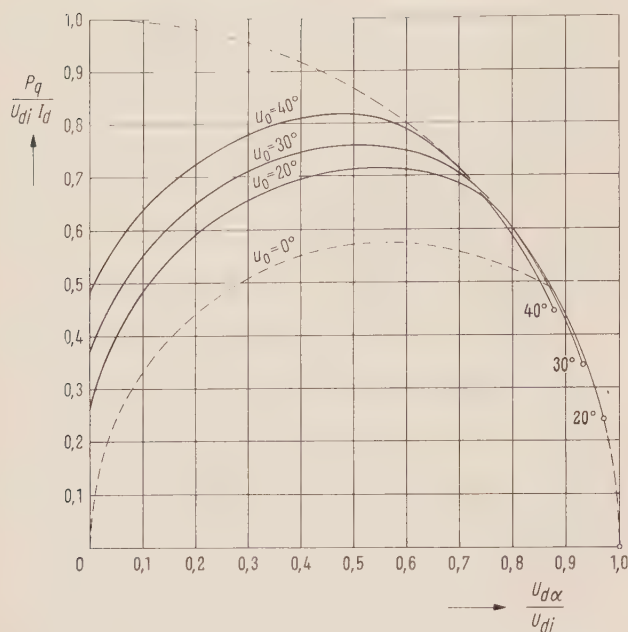


Bild 5 Blindleistungsfunktionen des dreipulsigen Stromrichters mit Nullanoden für verschiedene Anfangsüberlappungswinkel  $u_0$

Nullventil und umgekehrt, wobei unterschiedliche Überlappungswinkel auftreten. Solange Strom über ein Nullventil fließt, also auch während der Kommutierung, ist der Augenblickswert der Gleichspannung Null. Die Berechnung der Blindleistungsfunktion unter Berücksichtigung der Kommutierung ist umständlich, sie wurde von einem der Verfasser durchgeführt [3] und ergibt die Kurven des Bildes 5 für die gleichen  $u_0$ -Werte wie in Bild 1. Sie zeigen, daß bei herabgesteuerter Gleichspannung die Blindleistung weniger als halb so groß ist wie bei normaler Steuerung. Dies ist für Fördermaschinen sehr bedeutsam.

Bei der Saugdrosselschaltung erhält jedes der beiden dreipulsigen Teilsysteme ein Nullventil; bei einem Umkehrstromrichter in gegenparalleler Saugdrosselschaltung mit Nullanoden ergibt sich die Anordnung der Nullanoden nach Bild 6. Die Einanodengefäße werden dabei in zwei Gruppen von acht Gefäßen zusammengefaßt.

### Beanspruchung der Ventile bei Nullanodenschaltung

Wenn  $\alpha < 30^\circ$  ist, können die Nullventile keinen Strom führen, weil in diesem Bereich der Augenblickswert der Gleichspannung nicht negativ wird, wie aus Bild 2 zu ersehen ist. Bei  $\alpha > 30^\circ$  jedoch führen sie einen Teil des Gleichstromes, entlasten also dann die Hauptventile. So übernehmen die Nullventile bei Fördermaschinen im Verlauf eines normalen Förderzuges gerade dann einen Teil des Gleichstromes, wenn er am höchsten ist, nämlich beim Beschleunigen, wie es aus dem schraffierten Teil der Strom-Zeit-Fläche in Bild 8 zu erkennen ist. Im Bereich hoher Aussteuerung ( $\alpha < 30^\circ$ ), wenn die Nullventile keinen Strom führen, ist bei Fördermaschinen die Beschleunigungsperiode mit ihrem hohen Strom beendet. Die thermische Belastung der Nullventile ist somit beim normalen Förderbetrieb gering.

Die Entlastung der Hauptventile bezieht sich nicht nur auf den Strommittelwert, sondern darüber hinaus auch auf die Rückzündungsbeanspruchung der Ventile, für die das Produkt aus Sprungspannung und Stromsteilheit im Löschmoment ein Maß ist. Diese beiden Größen sind in Bild 2 für normale Steuerung dargestellt. Die Zahlenwerte bei  $u_0 = 30^\circ$  sind – bezogen auf die maximalen Werte bei  $(\alpha + u) = 90^\circ$  – eingetragen, so daß sich die angegebenen Werte für das Produkt  $U_{\text{spr}} di/dt$  ergeben. Bei voller Aussteuerung beträgt die Beanspruchung nur ein Viertel des maximalen Wertes, der bei ganz herabgesteuerter Spannung auftritt. In Bild 4 sind die entsprechenden Werte für die Haupt- und Nullventile einge-

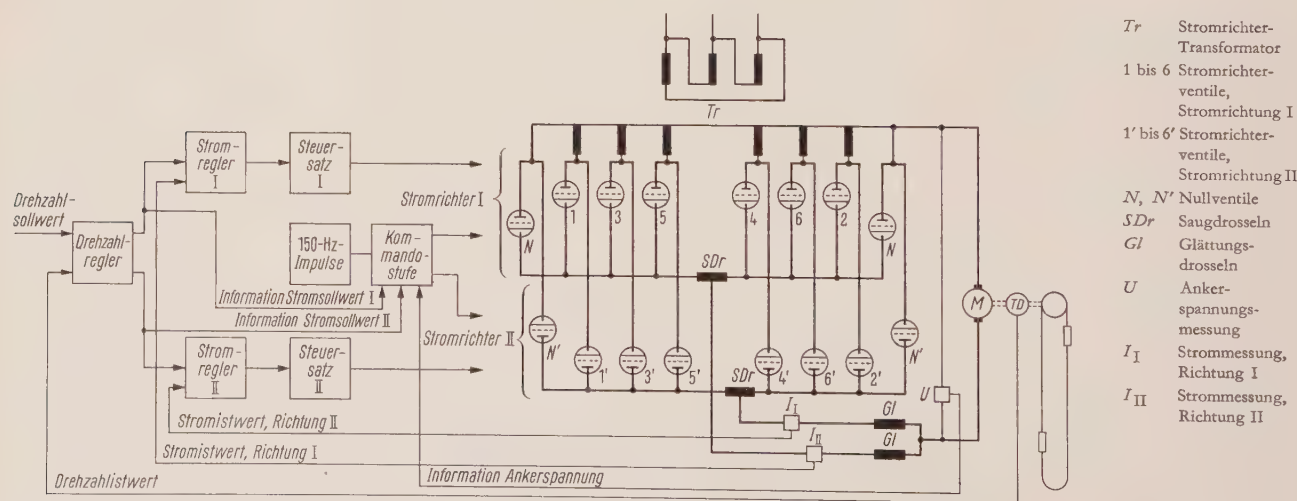


Bild 6 Gegenparallele Saugdrosselschaltung mit Nullanoden für einen Fördermaschinenantrieb mit TRANSIDYN-Regelung

tragen, die sich nach den Rechnungen aus [3] ergeben. Für das Nullventil steigt das Produkt von sehr kleinen Werten bei tief herabgesteuerter Gleichspannung mit steigender Gleichspannung an, erreicht aber nur eine Höhe von zwei Dritteln des Maximalwertes bei normaler Steuerung; es finden allerdings drei Kommutierungen des Nullventils je Periode statt. Trotzdem bleibt die Rückzündungswahrscheinlichkeit für das Nullventil im Bereich höchster Beanspruchung unter der Wahrscheinlichkeit, mit der man bei normaler Steuerung rechnen muß, denn der Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit und der Beanspruchung ist nicht linear. Während die Nullventile arbeiten, ist die Beanspruchung der Hauptventile außerordentlich gering.

Hilfseinrichtungen für die Nullanoden bei Fördermaschinenbetrieb

Im Gleichrichterbetrieb bleiben die Nullventile ständig geöffnet, ihre Gitter werden dann dreimal je Periode mit einem Zündimpuls fester Phasenlage beaufschlagt. Bei Wechselrichterbetrieb dagegen müssen die Nullanoden gesteuert werden. Nun ist es aber beim Fördermaschinenbetrieb gar nicht wichtig, die Blindlastspitzen auch während des Wechselrichterbetriebes zu verringern, weil dann der Gleichstrom nicht so hohe Werte erreicht wie beim Anfahren im Gleichrichterbetrieb. Es ist daher sinnvoll, die Nullventile bei Wechselrichterbetrieb gesperrt zu halten, indem die Zündimpulse unterdrückt werden; man erspart damit eine Einrichtung zur Zündwinkelverschiebung für die Nullventile. Die Steuerkennlinien für die beiden Systeme einer Gegenparallelschaltung mit Nullanoden haben dann den ungewohnten Verlauf nach Bild 7. Solche Steuerkennlinien verursachen bei einem Umkehrstromrichter mit TRANSIDYN\*-Regelung [4] keinerlei Schwierigkeiten, denn bei der unterlagerten Stromregelung wird immer das Stromrichtersystem, das gerade der Stromrichtung im Verbraucher entspricht, nach Maßgabe des Stromsollwertes, den der Drehzahlregler vorgibt, angesteuert, das andere System jedoch entsprechend einem kleinen Sollwert für den Kreisstrom.

Der Aufwand für die Einrichtung zum Öffnen und Sperren der Nullventile ist gering. Man braucht einen Impulserzeuger für Impulse mit dreifacher Netzfrequenz bei fester Phasenlage. Er besteht aus drei Kippstufen, von denen jede beim Nulldurchgang einer der Sternspannungen des Drehstromnetzes einen Impuls bildet. Diese Impulse werden auf eine gemeinsame Verstärkerstufe gegeben, an deren Ausgang sie im Abstand von 120° elektrisch der 50-Hz-Periode erscheinen. In einer Kommandostufe werden die Impulse über je ein logisches Schaltelement (Und-Gatter) für jede der beiden Stromrichtungen auf die Gitter der entsprechenden Nullventile weitergeleitet, jedoch nur dann, wenn gleichzeitig zwei Informationen auf die Und-Gatter gelangen:

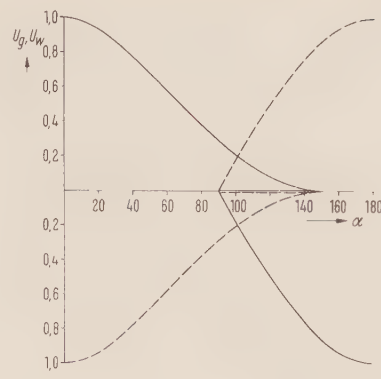
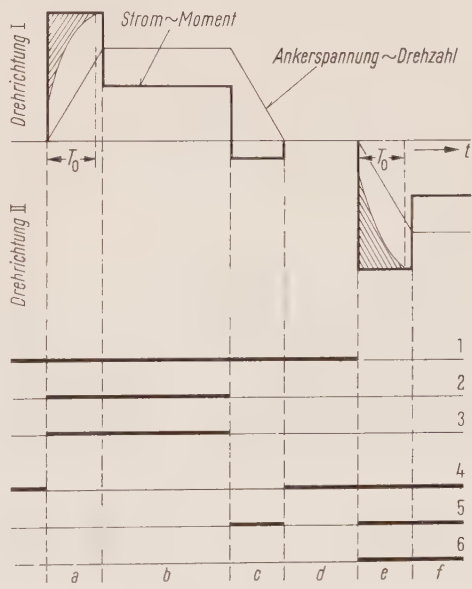


Bild 7 Steuerkennlinien für die Gegenparallelschaltung mit Nullanoden bei Sperrung der Nullventile im Wechselrichterbetrieb

- 1. wenn die Ankerspannung der Maschine (z. B. über Hallwandler gemessen) Null ist oder die Richtung für Gleichrichterbetrieb hat und
- 2. wenn der Ausgang des Drehzahlreglers einen Stromsollwert vorgibt.

Bild 8 zeigt schematisch die Wirkungsweise der Und-Gatter für die beiden Systeme der Gegenparallelschaltung unter einem idealisierten Fördermaschinenendiagramm.

Bei lang andauerndem Betrieb mit sehr tiefer Aussteuerung, wie er gelegentlich vorkommen kann, könnte die thermische Belastung der Nullanoden größer werden als die der Hauptanoden. Um dies zu vermeiden, wird gleichzeitig mit dem vom Stromsollwert abhängigen



- |                 |                                |                  |                                |
|-----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Stromrichter I: | 1. Signal Ankerspannung        | Stromrichter II: | 4. Signal Ankerspannung        |
|                 | 2. Signal Stromsollwert        |                  | 5. Signal Stromsollwert        |
|                 | 3. Kommando Nullanode geöffnet |                  | 6. Kommando Nullanode geöffnet |
- a Anfahren Drehrichtung I, Laststrom + Beschleunigungsstrom; Nullanode I geöffnet, führt während der Zeit  $T_0$  Strom  
b Konstante Drehzahl, Laststrom, Nullanode geöffnet, führt aber keinen Strom  
c Bremsen über Stromrichter II, alle Nullanoden gesperrt  
d Stillstand, alle Nullanoden gesperrt  
e, f für Drehrichtung II, entsprechend a bis d

Bild 8 Wirkungsweise der Kommandostufe in Bild 6 zur Freigabe der Nullventile bei einem idealisierten Förderdiagramm

\* Eingetragenes Warenzeichen



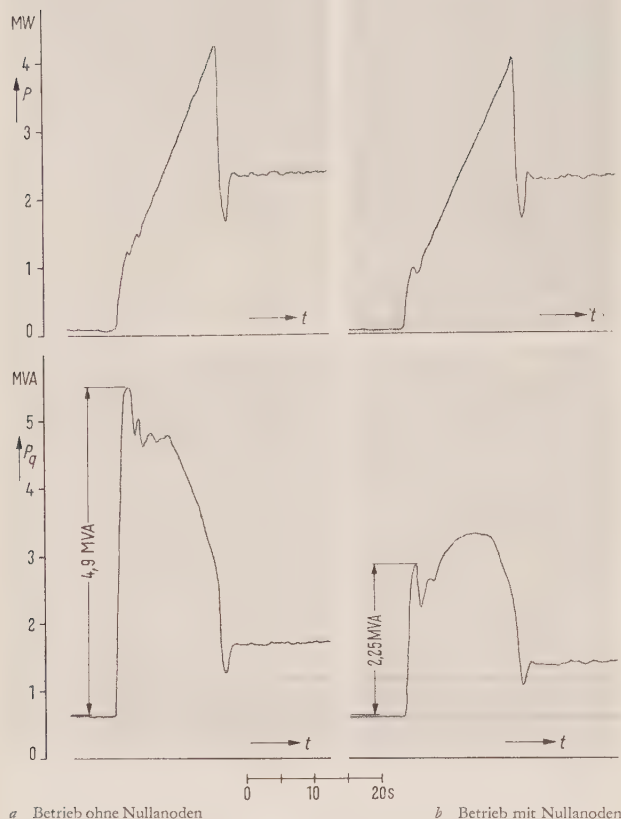


Bild 9 Wirkleistungs- und Blindleistungsverlauf beim Anfahren einer stromrichter gespeisten Fördermaschine

Signal eine Zeitstufe angestoßen, die nach einer einstellbaren Zeit, z. B. nach 30 s, die Freigabe der Zündimpulse wieder unterbricht, so daß die Nullventile nach dieser Zeit keinen Strom mehr führen.

### Blindleistungsmessungen an einer Fördermaschine mit Nullanoden-Stromrichter

An einer großen Stromrichteranlage in Gegenparallelschaltung mit Nullanoden zur Speisung einer automati-

schen Gleichstrom-Fördermaschine wurden Wirk- und Blindleistung während des automatischen Förderbetriebes mehrere Tage lang registriert. Bild 9 zeigt Ausschnitte aus dabei erhaltenen Schreiberstreifen, und zwar bei Betrieb ohne (a) und mit Nullanoden (b). Aus den Wirkleistungsdiagrammen ist ersichtlich, daß in beiden Fällen die Förderbedingungen fast gleich waren. Angefahren wird mit konstantem Strom von etwa 3900 A. Die Wirkleistung steigt linear mit der Drehzahl und erreicht ihren Höchstwert, wenn die volle Drehzahl erreicht ist. Anschließend wird mit konstanter Drehzahl gefahren, der Gleichstrom verringert sich auf einen Wert von 2700 A, der durch die Förderlast bestimmt ist.

Im Stillstand ist bereits eine Blindleistung vorhanden, die durch den Kreisstrom und den Magnetisierungsstrom des Transformators verursacht wird. Die Regelung arbeitet so, daß der Kreisstrom mit steigendem Gleichstrom vermindert und oberhalb des halben Nennstromes gänzlich unterdrückt wird; die Ausnutzbarkeit der Stromrichtergefäße wird daher nicht beeinträchtigt.

Die Werte der Blindlaststöße, die die unerwünschten plötzlichen Spannungseinbrüche im Netz hervorrufen, sind in Bild 9 vermerkt. Der Stoß, der bei Betrieb mit Nullanoden auftritt, ist weniger als halb so groß wie beim Betrieb ohne Nullanoden. Aus den Blindleistungsverläufen zu Beginn des Anfahrens ist zu erkennen, daß der Losbrechstrom im ersten Augenblick höher liegt als der eigentliche Anfahrstrom, das Losbrechmoment bestimmt also die Blindlaststöße.

Die Messungen bestätigen die Kurven des Bildes 5 und zeigen, daß die Nullanodenschaltung für Fördermaschinen zu empfehlen ist, wenn bei normaler Steuerung unzulässig hohe Blindlaststöße zu erwarten sind.

#### Schrifttum

- [1] Müller-Lübeck, K. und Uhlmann, E.: Die Strom- und Spannungsverhältnisse der gittergesteuerten Gleichrichter. Arch. Elektrotechn. 27 (1933) 347 bis 373
- [2] v. Issendorff, J. und Hartel, W.: Stromrichter mit Nullanode. ETZ-A 75 (1954) 691 bis 696 (mit ausführlichen Schrifttumangaben)
- [3] Moltgen, G.: Die Blindleistung bei Stromrichtern mit Nullanoden. Arch. Elektrotechn. 43 (1957) 276 bis 288
- [4] Keßler, C., Meinhardt, W., Neuffer, I. und Rube, G.: Die Gleichstromfördermaschine mit Siemens-TRANSIDYN-Regelung. Siemens-Zeitschrift 32 (1958) 555 bis 562

## TECHNISCHE BERICHTE

### Neue PROTOMONT-Schrämleitungen mit erhöhter Druck- und Zugfestigkeit

VON WALTER HOLTZ

Die Wettbewerbsfähigkeit und der Arbeitskräftemangel zwingen den Steinkohlenbergbau zu verstärkter Mechanisierung und Rationalisierung. Damit ist eine zunehmende Verwendung elektrischer Energie im Untertagebetrieb verbunden. Besonders die Mechanisierung und Elektrifizierung der Kohलगewinnungsbetriebe wurde in den letzten Jahren vorangetrieben, wobei Schrämlader immer mehr verwendet werden. Diese Maschinen fahren während des

Betriebes an dem etwa 200 bis 300 m langen Kohlenstoß entlang; die benötigte Antriebsenergie wird dabei durch Gummischlauchleitungen besonderer Konstruktion, sogenannte Schrämlösungen, zugeführt.

Diese Schrämlösungen werden mechanisch sehr stark beansprucht, z. B. durch Stein- und Kohlenfall, Einklemmen zwischen Fördermittel und Ausbau, aber auch durch Einwirkungen der Feuchtigkeit. Im Gegensatz zu früher, als man die Schrämlösungen in 50-m-Längen legte und mit Steckvorrichtungen verband – was häufige Betriebsunterbrechungen wegen des erforderlichen Umsteckens zur Folge hatte –, ist man im Zuge der Rationalisierung des

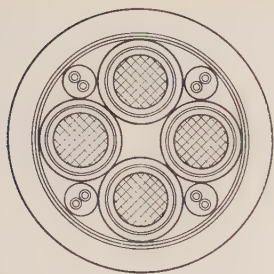


Bild 1 Aufbau der  
PROTOMONT-Einmantel-  
Schrämleitung NTMCEu

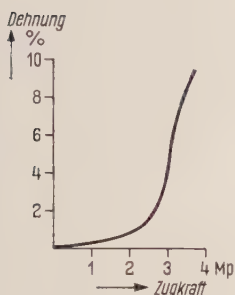


Bild 2 Dehnung der  
PROTOMONT-Einmantel-  
Schrämleitung, abhängig  
von der Zugkraft

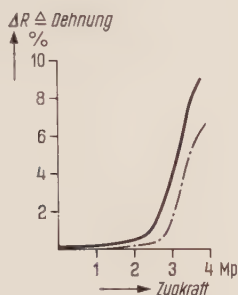


Bild 3 Widerstandsänderung  
der PROTOMONT-Einmantel-  
Schrämleitung bei Dehnung,  
abhängig von der Zugkraft

— Hauptleiter  
- - - Steuerleiter

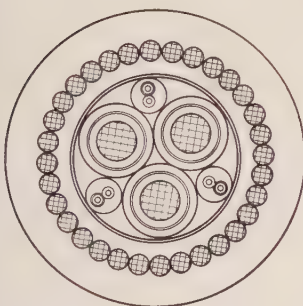


Bild 4 Aufbau der  
PROTOMONT-Einmantel-  
Schrämleitung NTSCETu

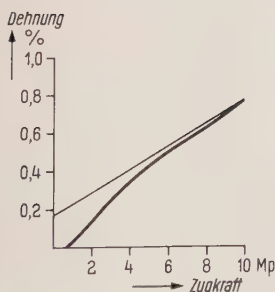


Bild 5 Dehnung der  
PROTOMONT-Schrämleitung  
NTSCETu, abhängig von  
der Zugkraft

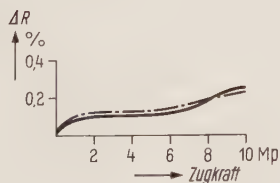


Bild 6 Widerstandsänderung  
der PROTOMONT-Schräm-  
leitung NTSCETu bei  
Dehnung, abhängig von  
der Zugkraft

— Belastung  
— Nach Entlastung

— Hauptleiter  
- - - Steuerleiter

Betriebsablaufes dazu übergegangen, die Schrämleitung in gesamter Länge (200 bis 300 m) nachzuschleppen. Diesen erhöhten Beanspruchungen sind die neuen PROTOMONT\*-Schrämleitungen gewachsen.

#### PROTOMONT-Einmantel-Schrämleitung NTMCEu

Über einem Profilkern aus Leitgummi sind vier isolierte Hauptleiter aus verzinnnten feindrähtigen Kupferlitzen verseilt (Bild 1). Die Isolierung der Energieleiter ist (entsprechend VDE 0250) hellgrau, schwarz und blau, die des Schutzleiters rot eingefärbt; darüber folgt ein gummiertes Gewebeband gleicher Farbe und eine Leitgummischicht. In den vier Zwickelräumen liegen, von Leitgummi umgeben, die kurzdrallig miteinander verseilten Überwachungsadern. Auf Wunsch kann anstelle je einer Überwachungsader ein isolierter Steuerleiter mitgeführt werden. Über den Hauptadern und den Überwachungsadern ist ein leitendes Band und darüber ein Textilband aufgesponnen. Abschließend folgt der besonders dicke, kerbzähe, einreiß- und abriebfeste, schwer brennbare PROTOFIRM\*-Außenmantel.

Die Wanddicke der Isolierung der Hauptleiter entspricht VDE 0250/11.60, Tafel 13, Gummi G 1b nach VDE 0208/11.60, d. h., die elektrische Sicherheit der Leitung ist durch Erhöhung der Isolierwanddicke – wie für Leitungstrossen üblich – gegeben. Hauptadern und paarweise verseilte Steuer- oder Überwachungsadern erhalten eine äußere Umhüllung aus Leitgummi, wodurch die Wirksamkeit der mit der Leitung verbundenen Schutz Einrichtung gewährleistet wird. Durch paarweises Verseilen der Steuer- oder Überwachungsadern mit kurzer Schlaglänge wird, wie jahrelange Erfahrungen ergeben haben, die Zerstörung durch Dehnungsbeanspruchung verhindert. Ein über den elektrischen Teil der Leitung – Seele genannt – aufgesponnenes halbleitendes Textilband trägt zur Behebung der sogenannten »Korkenzieherbildung« bei, die durch Torsion der Leitung während des Betriebes auftreten kann.

Erstmals wird für die Leitung ein Außenmantel aus PROTOFIRM besonderer Dicke (zwischen 5 und 8 mm) vorgesehen, so daß hierdurch die PROTOMONT-Schrämleitung als Einmantel-Leitung gekennzeichnet ist.

Vorteile dieser Ausführung sind erhöhte mechanische Widerstandsfähigkeit bei Beschädigungen durch Quetschungen, besseres Verhalten bei Einklemmen der Leitung zwischen Stempel und Förderer, wodurch bei bisher eingesetzten Leitungen leicht Überstülungen des Außenmantels eintraten, und erhöhte Abriebfestigkeit bei längerem Betriebseinsatz.

Versuche zum Ermitteln der zulässigen Zugbeanspruchungsgrenze bei gleichzeitigem Messen der Widerstandsänderung der Leiter ergaben, daß Zugkräfte von etwa 1,5 Mp von der Einmantel-Schrämleitung NTMCEu aufgenommen werden können, ohne die Betriebssicherheit der Leitung zu gefährden (Bilder 2 und 3).

Die bei einer Zugkraft von etwa 1,5 Mp ermittelte Dehnung der Leitung betrug 0,46%, die Zunahme der gemessenen Widerstände bei den Hauptleitern 0,3% und bei den Steuer- oder Überwachungsleitern 0,1%.

Die Leitung ist damit in elektrischer und mechanischer Hinsicht für den Einsatz im Schrämbetrieb geeignet.

#### Zugfeste PROTOMONT-Schrämleitung NTSCETu

Über einem Profilkern aus Leitgummi sind drei isolierte Hauptleiter aus verzinnnten feindrähtigen Kupferlitzen verseilt (Bild 4). Die Isolierung der Energieleiter ist (entsprechend VDE 0250) hellgrau, schwarz und blau eingefärbt; darüber folgt ein gummiertes Gewebeband gleicher Farbe und eine Leitgummischicht. In den drei Zwickelräumen liegen, von Leitgummi umgeben, die kurzdrallig miteinander verseilten Überwachungsadern. Auf Wunsch kann anstelle je einer Überwachungsader ein isolierter Steuerleiter mitgeführt werden. Über den Hauptadern und den Überwachungsadern ist ein leitendes Band aufgesponnen. Darüber liegt

\* Eingetragenes Warenzeichen



ein Polster aus Gummimischung, auf dem die Stahldrahtlitzen einschließlich der erforderlichen Kupferlitzen (Schutzleiter) aufgebracht sind. Abschließend folgt der besonders dicke, kerbzähe, einreiß- und abriebfeste, schwer brennbare PROTOFIRM-Mantel.

Für die Isolierung der Leiter und den Aufbau der Seelen, d. h. für den elektrisch wichtigen Teil der Schrämlleitung, gilt das über die PROTOMONT-Einmantel-Schrämlleitung Gesagte, da der konstruktive Aufbau nach gleichen Gesichtspunkten durchgeführt wurde. Das Tragorgan ist als dicht schließende Bewehrung aus verzinkten Stahldrahtlitzen aufgebracht. Zum Erzielen des erforderlichen elektrischen Querschnittes (konzentrischer Schutzleiter) wurden einzelne verzinkte Kupferlitzen eingefügt. Von den darunterliegenden, in Leitgummi eingebetteten Überwachungsadern ist das Tragorgan durch einen mechanisch festen, isolierenden Innenmantel aus Gummi getrennt. Stahl- und Kupferlitzen werden durch Aufpresen des PROTOFIRM-Außenmantels unter Druck und unter Anwendung besonderer Maßnahmen so fest zwischen Innen- und Außenmantel gehalten, daß auch bei starker Beanspruchung auf Zug oder Torsion eine kraftschlüssige Bindung gewährleistet ist. Da der Schutz des elektrischen Teiles (Seele) der Leitung gegen mechanische Beschädigungen durch das konzentrisch angeordnete Tragorgan gewährleistet ist, kann auf eine wesentliche Verdickung des Außenmantels, wie es bei der PROTOMONT-Einmantel-Schrämlleitung als erforderlich erachtet wurde, verzichtet werden.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Ergebnisse von Versuchen zur Ermittlung der zulässigen Zugbeanspruchungen unter gleichzeitiger Messung der Widerstandsänderungen der Haupt- und Überwachungs- oder Steuerleiter. Bei einer Zugkraft von 10 Mp wurde eine Dehnung der Leitung von etwa 0,8% und ein Widerstandsanstieg der Hauptleiter um etwa 0,3% ermittelt.

Bei Entlastung der Leitung gingen die Dehnung auf etwa 0,2% und die Widerstandserhöhung auf etwa 0,25% zurück. Die anschließend an den Dehnungsversuch durchgeführte Spannungsprüfung nach VDE 0250 wurde trotz der vorausgegangenen hohen mechanischen Beanspruchung bestanden.

Die neue zugfeste PROTOMONT-Schrämlleitung ist allen Anforderungen des Schrämbetriebes gewachsen.

Die PROTOMONT-Einmantel-Schrämlleitung (s. Bild 1) und die zugfeste PROTOMONT-Schrämlleitung (s. Bild 4) werden auf mehreren Zechen seit längerer Zeit eingesetzt; sie haben sich hierbei auch unter schwierigen Betriebsbedingungen bewährt.

### Paarweise an eine Teilnehmerleitung anschließbare Fernsprecher

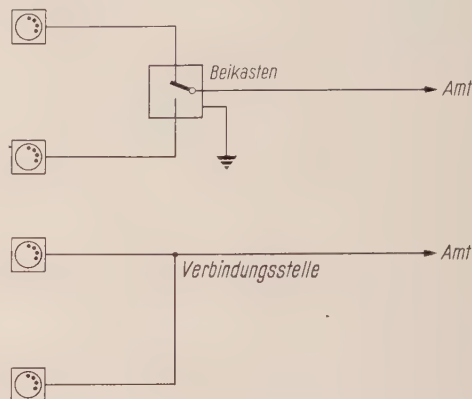
VON RICHARD GROTE

Bereits seit einigen Jahrzehnten werden bei Bedarf zwei Sprechstellen an eine gemeinsame Teilnehmerleitung angeschlossen. Einen solchen Gemeinschaftsanschluß, auch Zweieranschluß genannt, kann man einrichten, wenn die beiden Fernsprechteilnehmer »Wenigsprecher« sind oder wenn zum Zeitpunkt der Installation der Anschlüsse noch nicht genügend Leitungen zur Verfügung stehen. Auf diese Weise läßt sich die sonst kostspielige Erweiterung eines Fernsprech-Ortsnetzes oft noch für einige Zeithinausschieben; man wird die Erweiterung später auf wirtschaftlichere Art durchführen können, sobald genügend Anmeldungen auf Fernsprechanschlüsse vorliegen.

Damit sich der über eine Amtsleitung geführte Sprechverkehr zweier Teilnehmer geheimhalten läßt, ist im Abzweigpunkt, in dem sich die Leitung gabelt, ein Beikasten mit zwei Relais erforderlich. Zu Beginn der Gespräche schaltet das dem jeweiligen Teilnehmer zugeordnete Relais die Sprechstelle des Partners von der Leitung ab.

Siemens & Halske entwickelte eine Fernsprecherschaltung, die es ermöglicht, ein oder zwei Sprechstellen unmittelbar — also

ohne Beikasten — an die Teilnehmerleitung zu schalten. Zu diesem Zweck enthalten die Fernsprecher normaler Ausführung im Sprechstromkreis und im Weckerstromkreis je einen Halbleiter.



Anschluß von zwei Fernsprechern an eine Teilnehmerleitung über einen Beikasten und Zusammenschalten von zwei schaltungstechnisch erweiterten Fernsprechern durch eine einfache Verbindung an beliebiger Stelle

Diese ruhenden Bauelemente übernehmen die Funktionen der Relais. Der eine der beiden Teilnehmer wird durch Rufstrom auf der einen, der zweite Teilnehmer durch Rufstrom auf der anderen Ader gerufen. Bei sämtlichen Schaltvorgängen bilden die Sprechadern eine Schleife. Individuelles Rufen und Geheimverkehr wurden also beibehalten.

Der besondere Vorzug der paarweise an eine Amtsleitung anschließbaren Fernsprecher ist, daß die örtliche Lage des Abzweigpunktes überhaupt keine Rolle mehr spielt, denn anstelle der Schaltmittel gibt es hier nur noch eine einfache Verbindung der beiden Sprechadern (s. Bild). Damit fällt auch die zum Betrieb des Beikastens erforderliche zusätzliche Erdleitung weg. Ferner werden Verbindungsleitungen zwischen Beikasten und Abzweigpunkt überflüssig, die immer dann notwendig sind, wenn der Beikasten aus räumlichen oder klimatischen Gründen vom Abzweigpunkt getrennt angebracht werden muß. Zuweilen ist es unumgänglich, den Beikasten an einem Mast im Freileitungsnetz oder in einem Verteilergehäuse des Kabelnetzes unterzubringen und somit ungünstigen Witterungseinflüssen auszusetzen. Die neuartige Fernsprecherschaltung vermeidet dies und vereinfacht entscheidend die Montage. Hinzu kommt, daß weder im Fernsprechamt noch an der Sprechstelle des Partners Änderungen erforderlich sind, wenn einer der Teilnehmer seinen Fernsprechanschluß aufgibt.

### Ein neues HF-Sendekabel größten Durchmessers

VON HANS BECKER

Die Ausnutzung der Fernschleifen IV und V macht es wünschenswert, auch für diese höheren Frequenzen, die bis 800 MHz reichen, ein koaxiales Sendekabel zur Verfügung zu haben, das die Hochfrequenzenergie vom Senderaum zur Antenne reflexionsarm und ohne wesentliche Verluste überträgt.

Die Reihe der bewährten dämpfungsarmen HF-Kabel mit Luft-raumisolierung wurde daher durch das Kabel 64/156 erweitert. Es hat die höchste Übertragungsleistung und den größten Durchmesser aller bisher gefertigten Nachrichtenkabel. Sein Wellenwiderstand beträgt 50  $\Omega$  bei  $\pm 1\%$  gewährleisteter Toleranzgrenze. Der Durchmesser des Innenleiters ist 64 mm, der des Außenleiters 156 mm und der äußere Kabeldurchmesser über dem Polyäthylenmantel 172 mm. Bild 1 veranschaulicht den Aufbau des Kabels und ermög-

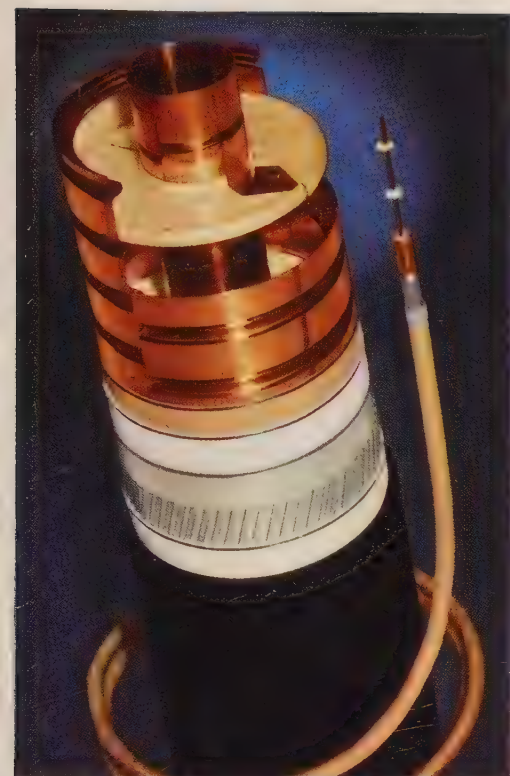


Bild 1 Das neue Hochfrequenzkabel 64/156 und – zum Größenvergleich – ein Koaxialpaar nach CCITT 2,6/9,5

licht einen Größenvergleich mit dem in Fernkabeln verwendeten Koaxialpaar in CCI-Abmessungen 2,6/9,5 mm. Das neue Kabel wiegt nur etwa 11 kg/m und ist in Längen bis zu 250 m lieferbar.

Um für die Herstellung und beim Transport des Kabels auf Bahn und Straße erträgliche Trommelabmessungen zu haben, wurde das Kabel so konstruiert, daß es ohne Gefahr für die elektrischen Werte und die mechanischen Eigenschaften auf Trommeln von 3,0 m Kerndurchmesser gewickelt werden kann. Die dafür erforderliche



Bild 2 Ein Kabel 64/156 wird in einen Sendemast des Senders Rom eingezogen

Stabilität der Konstruktion konnte mit verhältnismäßig geringem Materialaufwand erreicht werden.

Die Herstellung eines so dicken Kabels in hoher Präzision erfordert Fertigungseinrichtungen, die trotz ihrer Größe sehr genau zu steuern sein müssen. Man denke z. B. nur an die Bewehrungsmaschine und die Schneckenpresse zum Aufbringen des Polyäthylenmantels, die unter Schonung des Kabels große Durchmesser beherrschen müssen. Auch die inneren Bauelemente müssen mit großer Genauigkeit hergestellt werden. Innen- und Außenleiter des Kabels sind aus je zwei Kupferhalbrohren gebildet, die aus Bändern hoher Breitenpräzision geformt werden. Die Breite dieser Bänder darf z. B. um höchstens  $\pm 0,8\%$  schwanken, damit hohe Gleichmäßigkeit, des Wellenwiderstands und damit kleine innere Reflexionen des Kabels gewährleistet werden können. Für das Außenleiterband von 251,4 mm bedeutet diese Forderung eine Breittoleranz von nur  $\pm 0,2$  mm.

Die Prägung der Sicken in die vorgeformten Halbrohre der Innen- und Außenleiter erfordert ebenfalls sehr präzise Werkzeuge, denn Sickenform, Sickentiefe und Sickenabstand müssen sehr genau eingehalten werden. Auch die gegenseitige Lage der Sicken im Innen- und Außenleiter darf beim Zusammenbau nicht nennenswert voneinander abweichen.

Die den Innenleiter im Außenleiter zentrierenden Scheiben sind aus Polyvinylcarbazol (LUVICAN) gepreßt. Um möglichst kleine dielektrische Verluste zu erhalten, bestehen die Scheiben trotz ihrer Größe nur aus wenig Material. Sie müssen jedoch ausreichende Festigkeit für die Halterung des Innenleiters bei Biegebeanspruchungen des Kabels und hohe Elastizität für das Aufspreizen der Scheiben beim seitlichen Aufstecken auf den Innenleiter haben. Um die inneren Reflexionen infolge von Schwankungen des Wellenwiderstands so klein wie möglich zu halten, sind die Toleranzen in der Dicke der Isolierscheiben auf  $\pm 15$   $\mu$ m eingeeengt.

Die Montage und besonders das Einziehen des Kabels in die Sendetürme wird durch den verhältnismäßig kleinen zulässigen Biegeradius und das geringe Gewicht des Kabels, aber auch durch seine gute Flexibilität sehr erleichtert. Auf den meistens schon vorhandenen und bereits mit anderen Sendeanlagen belegten Masten müssen die neuen Kabel oft mehreren Umlenkungen folgen. Die Bewehrung aus Stahlflachdrähten und der Polyäthylenmantel beeinträchtigen die Biegefähigkeit des Kabels nur wenig, schützen dagegen das Kabel weitgehend vor Überbeanspruchung und Knickgefahr. Das geringe Gewicht und die Zugfestigkeit ermöglichen es, das Kabel auch bei maximaler Lieferlänge von 250 m nur am Endverschluß, in dem die Bewehrungsdrähte verankert werden, im Mast hochzuziehen. Allen diesen Eigenschaften ist es zu danken, daß ein Sendekabel meistens im Verlauf eines Tages in den Mast eingezogen, in die endgültige Lage gebracht und angeschellt werden kann. So wurde z. B. die erste Montage eines solchen Kabels mit der Länge von 150 m von 15 Mann an einem Tag erledigt (Bild 2).

Die hohe Wärmestandfestigkeit der Isolierscheiben aus Polyvinylcarbazol ermöglicht betriebsmäßige Temperaturen des Innenleiters bis zu 170°C; andere viel verwendete Isoliermaterialien, wie Polystyrol und Polyäthylen, dürfen dagegen auf höchstens 100°C erhitzt werden. Das Kabel kann deshalb die bisher höchsten Leistungen von Fernsendern mit 40 kW im Dauerbetrieb bei 800 MHz übertragen. Dabei wirkt sich der geringe Leistungsverlust des Kabels, das z.B. bei 150 m Länge noch 80% der Senderleistung zur Antenne bringt, besonders günstig aus. Bemerkenswert ist auch, daß die elektrische Güte des Kabels durch die Beanspruchung bei der Montage und bei Um-



wickelversuchen nicht gemindert wurde. Über die Rückflußdämpfung des neuen Kabels liegen bisher nur wenige Werte vor, jedoch wurde bei Messungen mit einem HF-Impuls von 10 ns Breite keine Rückflußdämpfung unter 40 dB gemessen.

Für das italienische Fernsehnnetz wurden 1960 sieben Kabel 64/156 in Längen von 99 bis 193 m geliefert, z. T. schon montiert und in Versuchsbetrieb genommen.

### Das neue Gleisbildstellwerk eines Luxemburger Hüttenwerkes

VON WALTER GEBHARDT

Das südwestlich der Stadt Luxemburg gelegene Hüttenwerk Hadir ist mit seiner Gleisanlage, die 3 Gleisbezirke, 20 Verbindungsgleise, 10 Ausziehgleise, 50 Anschlußgleise zu den Hochöfen, Walzwerken, Depots usw. und etwa 200 Weichen umfaßt, auf engstem Raum zusammengedrängt. Beim Zug- und Rangierverkehr auf dieser stark beanspruchten Gleisanlage konnten sich früher das Rangier- und das Lokomotivpersonal nur mündlich miteinander verständigen. Die Weichen wurden örtlich gestellt, und nur in einigen Weichenstraßen war eine einfache Signaleinrichtung ohne Sicherung der Fahrwege eingebaut. Die Bewegungen der ein- und ausfahrenden Erz-, Koks-, Stückgut- und sonstigen Waggons sowie der umfangreiche Rangierverkehr innerhalb des Hüttenwerkes konnten daher nur in kurzen Wagenabteilungen auf Sicht durchgeführt werden. Erschwerend war dabei, daß die von und zur Luxemburgischen Staatsbahn ein- und ausfahrenden Waggons auf einem 12 m höher liegenden Gleisbezirk zusammengestellt werden müssen und der Höhenunterschied infolge der kurzen Entfernung mit drei Umsatzbewegungen auf Kehrgleisen bewältigt werden muß. Die Transportleistung der bestehenden Anlage war mit diesen Einrichtungen begrenzt und nicht steigerungsfähig; sie konnte den Anforderungen des Hüttenwerkes mit seiner ständig wachsenden Produktion nicht mehr gerecht werden. Ein Ausweg aus dieser Lage konnte nur im Einsatz neuzeitlicher Signaltechnik gefunden werden.

Im Auftrag des Hüttenwerkes hat Siemens & Halske eine solche Anlage erstellt. Für die drei Gleisbezirke mit allen Anschlußgleisen wurde ein zentrales Gleisbildstellwerk errichtet. 170 Lichtsignale wurden aufgestellt sowie 165 Weichen mit elektrischen Antrieben ausgerüstet und an das Stellwerk angeschlossen. Außerdem erhielt das Stellwerk eine Gleisfreimeldeanlage, die aus 34 Achszählkreisen mit 144 Impulsgebern sowie 140 Gleisstromkreisen besteht. Das fünfstöckige Stellwerkgebäude ist so angeordnet, daß man vom Betriebsraum im fünften Stock die Gesamtanlage gut überblicken kann.

Für jeden Gleisbezirk wurde im Zentralstellwerk ein besonderer Stellfisch aufgestellt. Die drei Stellfische sind im Betriebsraum hufeisenförmig angeordnet. Sie sind mit einem der Gleisanlage entsprechenden schematischen Gleisbild versehen und geben durch ihre verschiedenartigen Ausleuchtungen der Weichen, Signale und Gleise dem Wärter eine klare Übersicht über den jeweiligen Betriebszustand. Jede Fahrstraße läßt sich einzeln durch Tastendruck einer Start- und einer Zieltaste einstellen. Alle weiteren Vorgänge, das Weichenstellen, das Verschließen der Weichen und Festlegen der Fahrstraßen sowie das Einstellen der Signale, werden automatisch mit Hilfe der Relaisanlage ausgelöst, die insgesamt etwa 7000 Relais enthält. Vom Zug aus wird die Fahrstraße selbsttätig aufgelöst. Das Stellwerkpersonal (zwei Wärter bei normalem und drei Wärter bei starkem Betrieb) hat somit nur wenige Betätigungshandlungen zu erledigen und kann sich vollständig auf das Steuern und Überwachen des Zug- und Rangierverkehrs konzentrieren. Eine zusätzliche Rangierfunkanlage ermöglicht die unmittelbare Verständigung zwischen Lokomotiv- und Stellwerkpersonal.

Der gesamte Zugverkehr wird damit von einem einzigen Gleisbildstellwerk zentral gesteuert, das mit den neuesten Signal- und Sicherungseinrichtungen ausgerüstet ist. Dadurch läßt sich die Leistungsfähigkeit der Gleisanlage so steigern, daß eine reibungslose Durch-



Stellwerkgebäude im Hüttenwerk Hadir (Luxemburg)

führung der Transportaufgaben auch dann gewährleistet ist, wenn die Produktion des Hüttenwerkes noch weiter ansteigt. Zur Zeit besteht die tägliche Transportleistung aus etwa 900 Aus- und Einfahrten von Waggons zur Staatsbahn und aus etwa 14000 Rangierfahrten innerhalb des Hüttenwerkes.

Das Hüttenwerk Hadir verfügt mit dieser Anlage über das größte und neueste Industrie-Gleisbildstellwerk Luxemburgs (s. Bild). Es wurde im März 1960 in Betrieb genommen. Die Innen- und Außenanlagen wurden von Siemens & Halske, Abteilung für Eisenbahnsignaltechnik in Braunschweig, geliefert und innerhalb von 20 Monaten montiert. Mit Hilfe der Anlage läßt sich außerdem der Bedarf an Betriebspersonal verringern, obgleich dieser Gesichtspunkt zunächst bei der Planung nicht als wesentlich angesehen wurde. Die Anlage wird in kürzester Zeit amortisiert sein, vor allem, weil beträchtliche Kosten, die bei der alten Anlage durch Rangierschäden und Entgleisen von Waggons verursacht wurden, von nun an entfallen.

### Wasserkraftgenerator hoher Drehzahl und Leistung für Bistrica (Jugoslawien)

VON KARL MÜLLER

Die schnelle Entwicklung der Industrie Jugoslawiens seit 1946 hatte einen sprunghaften Anstieg des Bedarfs an elektrischer Energie zur Folge. Der jährliche Bedarfszuwachs von z. Z. durchschnittlich 15% liegt über der Zuwachsrates der meisten anderen europäischen Länder. Zur Deckung dieses Bedarfs ist die Erschließung der natürlichen Energiequellen – Kohle und Wasserkraft – wichtige Voraussetzung. Während noch 1950 mehr Energie in Wärmekraftwerken erzeugt wurde, hat in den folgenden Jahren die Energieerzeugung aus Wasserkraft an Bedeutung gewonnen. Mit einem ausbauwürdigen Wasserkraftpotential von etwa 66 Milliarden kWh je Jahr, das erst zu ungefähr 4% genutzt wird<sup>1)</sup>, bietet sich hier dem Lande eine nicht zu unterschätzende Energiereserve.

1) Filipović, B.: Elektrizitätswirtschaft Jugoslawiens. Wasser- und Energiewirtschaft (1958) 175 bis 185



- |                    |                |                             |                   |
|--------------------|----------------|-----------------------------|-------------------|
| 1 Krafthaus        | 3 Wasserschloß | 5 Einlaufbauwerk            | 7 Wasserkraftwerk |
| 2 Druckrohrleitung | 4 Druckstollen | 6 Ausgleichsbecken Radoinje | Kokin Brod        |

Bild 1 Lage des Wasserkraftwerks Bistrica (Jugoslawien)

Als eine der neuesten Anlagen ist das Wasserkraftwerk Bistrica am Lim (Bild 1) mit zwei vertikalen Maschinensätzen von je 52 MW in Betrieb gegangen. Jeder Generator ist mit einer Francis-turbine von 72 250 PS und 600 U/min bei 376,4 m Fallhöhe gekuppelt. Die Generatoren in Bistrica sind z. Z. die leistungsgrösten in Wasserkraftwerken betriebenen Stromerzeuger Jugoslawiens. Mit ihrer Konstruktion und der Lieferung der ersten Maschine waren die

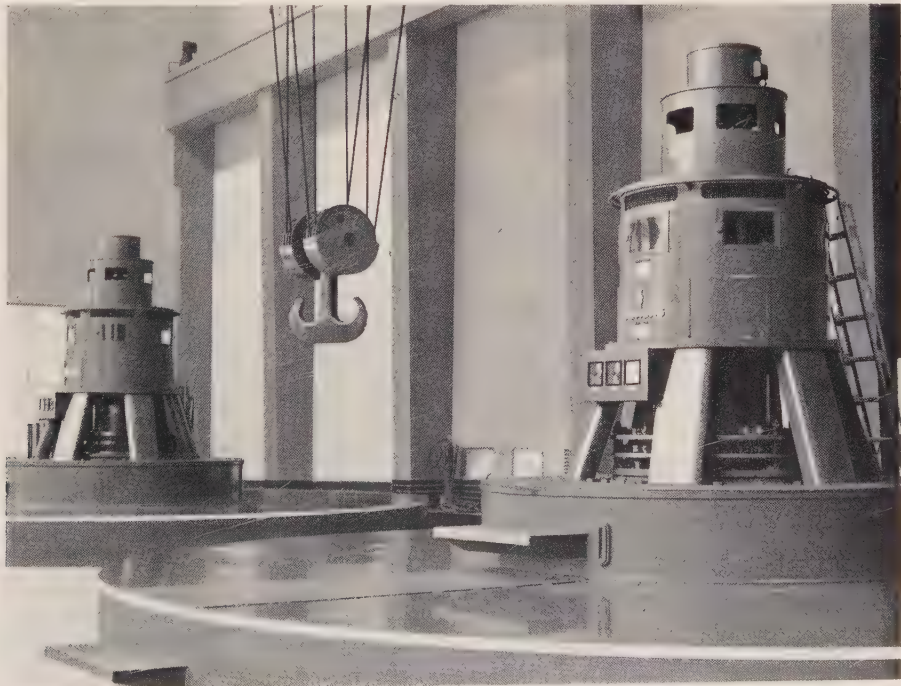
Siemens-Schuckertwerke beauftragt worden. Der zweite Generator wurde in Jugoslawien von der nationalen Elektroindustrie nach Unterlagen der Siemens-Schuckertwerke gefertigt.

Jeder Generator hat folgende Hauptdaten:	
Nennleistung	54 MVA
Nenn-cos $\varphi$	0,95
Nennspannung	10,5 kV $\pm$ 5%
Nennfrequenz	50 Hz
Nennzahl	600 U/min
Durchgangsdrehzahl	1070 U/min
Läuferschwingmoment	380 tm <sup>2</sup>

Die Maschinen sind mit senkrechter Flanschswelle, oberem, kombiniertem Trag- und Führungslager und unterem Führungslager entworfen worden (Bauform W 4 o nach DIN 42950).

Der Generatorständer ist in das Fundament versenkt eingebaut. Oberhalb des Maschinenhausflures (s. Bild 2) sind nur ein Teil des Luftführungsmantels, das Traglager, die Schleifringe sowie die Erreger- und Hilfsmaschinen sichtbar. Das zweiteilige Ständergehäuse, eine stabile geschweißte Walzstahlkonstruktion, trägt das Blechpaket mit der Ständerwicklung. Letztere ist eine Zweischicht-Gitterstabwicklung mit zweifacher Parallelschaltung und Isolation nach Klasse B. Zum Abführen der Verlustwärme aus dem Kühlluftkreislauf sind vier Luftkühlerelemente am Ständerücken angeordnet. Der Läufer besteht aus der Welle, einem Nabenkörper mit zwei aufgezogenen Läuferfingern und zehn Langpolen. Die Pole sind mit kammartigen Ansätzen in rillenförmigen Eindrehungen der Läuferfingern befestigt. Eine in den lamellierten Polschuhen untergebrachte geschlossene Dämpferwicklung gewährleistet einen einwandfreien Parallelbetrieb mit anderen Maschinensätzen und dem Netz. Zur Polraderregung dient eine mit der Generatorwelle direkt gekuppelte Haupterregmaschine. Eine Hilfsmaschine oberhalb der Erregermaschine speist einen AMPLIDYNE-Umformer und den Magnetverstärker-Spannungsregler.

Bild 2 Blick in das Maschinenhaus. Im Vordergrund Generator I





Besondere Beachtung verdient die konstruktive Ausführung des oberen kombinierten Trag- und Führungslagers. Das Traglager, ein selbstpumpendes mehrteiliges Segment-Spurlager vom Typ Siemens-Michell, muß bei 600 U/min eine Gesamtbelastung von 210 t aufnehmen. Das Lageröl wird durch die Pumpwirkung des Spurrings in einem geschlossenen Kreislauf durch außerhalb des Lagerölbehälters aufgestellte Zwillings-Ölkühler gefördert. Bei diesem Schmiersystem sind keine von einer Fremdstromquelle abhängige Ölpumpen erforderlich, wodurch die Betriebssicherheit erhöht wird.

Nach Abschluß der Fertigung wurde der Generator I im Prüffeld des Dynamowerkes der Siemens-Schuckertwerke vollständig aufgebaut. Die beim Prüffeldlauf durchgeführten Messungen ergaben, daß alle gewährleisteten Daten ausnahmslos eingehalten wurden.

Die schwierigen Transportverhältnisse auf dem Wege zur Baustelle beeinflussten die Konstruktion der Generatoren wesentlich. Besonders einschneidend war die Einschränkung des Eisenbahnprofils und des Transportgewichts auf der Schmalspurstrecke Sarajevo-Priboj.

Dort mußten auf einer ungefähr 150 km langen Strecke 72 Tunnel durchfahren werden. Der insgesamt 220 t schwere Generator wurde daher so weit unterteilt, daß das schwerste zu transportierende Teil – die Welle mit Nabenkörper und einem Läufferring – ein Gewicht von nur 46,5 t hatte.

Die Montage des Generators I war trotz der starken Zerlegung nach knapp fünf Monaten beendet. Beide Generatoren (s. Bild 2) speisen nun über eine neu errichtete 220-kV-Freileitung – die erste in Jugoslawien mit dieser hohen Übertragungsspannung – in das Versorgungsnetz der Hauptstadt Belgrad.

## SIEMENS-SCHRIFTTUM

Unter dieser Überschrift bringen wir Arbeiten, die von Angehörigen des Hauses Siemens in anderen Zeitschriften veröffentlicht worden sind.

Wir wollen damit unseren Lesern das Auffinden von Schrifttum erleichtern. Die vorliegende Zusammenstellung berücksichtigt den Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 1960; sie bringt außerdem einen Nachtrag für 1959.

- ABEL, K.: Parametrische Verstärker mit drei Signalfrequenzen. Nachrichtentechnische Fachberichte **21** (1960) 45 bis 48
- ABRAHAM, K.-H.: Messungen am einbetonierten Druckrohrkrümmer des Pumpspeicherwerkes Happurg. Der Bauingenieur **35** (1960) 127 bis 130
- ACHENBACH, H.: Regelung großer Wasserkraftgeneratoren. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 227 bis 240
- ALBSMEIER, H.: Ein tragbares Gerät zum Messen von Funkstörungen für den Frequenzbereich von 0,15 bis 3 MHz. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 483 bis 486
- AMENDE, E.: Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung für die Energieverkaufsabrechnung. Elektrizitätsverwertung **35** (1960) 222 bis 226
- ANKE, K. und KESSLER, C.: Theorie und Schaltungstechnik der Registerregelung. Regelungstechnik **8** (1960) 233 bis 238
- ANKE, K. und PREIS, W.: Neue Registerregelung beim Rotationsdruck mittels Transistoren. Zeitungs- und Zeitschriften-Verlag **60** (1960) 368 bis 370
- ARNOLD, H.: Die maschinelle Fertigungsdisposition Teil 2: Das Dispositionssystem. Elektronische Rechenanlagen **2** (1960) 171 bis 176
- AUER, W. und BENDEL, H.: Eine wandlungsfähige Endschaltung für Trägerfrequenz-Fernsprechkreise. Frequenz **14** (1960) 386 bis 392
- BACHEL, J.: Meßverfahren zum Bestimmen der Innenmaße von Hohlleitern. Frequenz **14** (1960) 131 bis 134
- BALDES, K. H.: Die Beleuchtung von Baustellen. Bauwirtschaftliche Informationen **197** (1960) 23
- BARTL, G. K.: Die Gestaltung von Wasserkraftwerken an Flachlandflüssen. Elektrizitätswirtschaft **13** (1960) 360 bis 365
- BAUCIK, G. und UNTERBERGER, E.: Die Beleuchtung von Hochspannungs-Innenanlagen über 60 kV. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 266 bis 269
- BAUCIK, G.: Die Beleuchtung eines Industriebetriebes. Der Elektromeister **13** (1960) 575 und 576
- BEHNKE, H. und RHEIN, H.: Wirtschaftliche Lage der Fernmeldeindustrie. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 440 bis 442
- BENDEL, H. und AUER, W.: Eine wandlungsfähige Endschaltung für Trägerfrequenz-Fernsprechkreise. Frequenz **14** (1960) 386 bis 392
- BENZINGER, H.: Geschwindigkeit, Bremsweg und Übergangsphasendauer an signalgeregelten Kreuzungen. Verkehr und Technik **13** (1960) 349 bis 353
- BIDLINGMAIER, M., EBENAU, S. und FEIL, F.: Meß- und Einstellverfahren bei der Entzerrung und Überwachung von Trägerfrequenzsystemen auf symmetrischen Kabelleitungen. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 34 bis 41
- BIENECKE, O., KLEIN, P. E. und LANGE, W.: Der »Elektronenstrahl-Oscillomat«, eine direktanschreibende Registriereinrichtung mit Braunschen Röhren. Archiv für technisches Messen Lfg. **297** (1960) R 141 bis R 146
- BIRKHOFF, U.: Zur experimentellen Bestimmung der thermoelektrischen Effektivität von Halbleitern. Solid-State Electronics **1** (1960) 33 bis 38
- BITTER, H.: Hochspannungsisolatoren für Innenraumanlagen – der Weg zum verschmutzungssicheren Isolator. Elektrizitätswirtschaft **13** (1960) 760 bis 764
- BITTER, H.: Zur Frage der Lichtbogenarbeit in Hochspannungshochleistungs-Sicherungen. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 608 bis 615
- BLUMENTRITT, S.: Gestaltung der Einwahlstellen für selbsttätige Zugnummernmeldung. Signal und Draht **52** (1960) 173 und 174
- BODE, K., KOPP, H. und THEUS, R.: Kanalumsetzer mit Transistoren für Trägerfrequenz-Fernsprech-Systeme. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 465 bis 469
- BODENSTEIN, C. und FISCHER, J.: Aufbau und Eigenschaften eines Zeitansagers mit endlosem Magnetband. VDPI Ing. d. Deutschen Bundespost **9** (1960) 136 bis 140
- BÖHME, B.: Mehr Licht für die Straßen auf dem Land. Das Elektrofach **2** (1960) 16 und 17
- BÖHME, W.: Prüfen und Messen mit Ultraschall-Impulsen. Archiv für technisches Messen Lfg. **296** (1960) R 109 bis R 112
- BOPP, J.: Automatische Anlagen zur Notstromversorgung durch Aggregate. Energie und Technik **12** (1960) 201 bis 204

- BRENNER, R.: Blochwandabstände in dünnen SiFe-Proben mit Würfeltextur. Zeitschrift für angewandte Physik **12** (1960) 107 bis 111
- BRETSCHNEIDER, G.: Die Berechnung von Leitungsgruppen für überfließenden Verkehr mit programmgesteuerten Rechenautomaten. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 23 bis 28
- BRETSCHNEIDER, G., DORSCH, H. und ZUBE, B.: Messungen mit Estorffschen Funkenstrecken in Hochspannungsanlagen. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 617 bis 622
- BRUCKMOSER, L.: Ein neues Verfahren zur Messung des Widerstandes bei Transistoren und Dioden. Radio Mentor **26** (1960) 974 bis 977
- BURHORN, F. und WIENECKE, R.: Plasmazusammensetzung, Plasmadichte, Enthalpie und spezifische Wärme von Sauerstoff bei 1, 3, 10, 30 atm. im Temperaturbereich zwischen 1000 und 30000° K. Zeitschrift für Physikalische Chemie **213** (1960) 37 bis 43
- CHRISTIANSEN, H. M. und SCHLICHTE, M.: PPM 60. – ein transistorisiertes Pulsphasen-Modulationsgerät für 60 Kanäle. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 392 bis 399
- CZECH, F. und OTTO, A.: Das Buckelschweißen, ein wirtschaftliches Fertigungsverfahren. Technische Rundschau **52** (1960) 17 bis 25
- DAHLBERG, R.: Ausführungsformen von Hochfrequenz-Transistorsystemen. Nachrichtentechnische Fachberichte **18** (1960) 31 bis 38
- DARRÉ, A.: Der Transistor als passives Bauelement. Frequenz **14** (1960) 6 bis 10
- DEEKEN, E.: Die Praxis der elektronischen Streckungsmessung an Nachwalzanlagen. Blech **7** (1960) 757 bis 759
- DEUTSCH, J. und OFFNER, M.: Ein magnetisch regelbares, koaxiales Dämpfungsglied mit kleiner Grunddämpfung. Frequenz **14** (1960) 344 bis 347
- DIETRICH, G.: Schulung von Arbeitskräften für die betrieblichen Gütekontrollen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung **55** (1960) 497 bis 503
- DIETRICH, I. und HONRATH-BARKHAUSEN, M.: Untersuchungen des Materialtransportes an elektrischen Abhebekontakten mit Hilfe radioaktiver Isotope. Zeitschrift für angewandte Physik **12** (1960) 538 bis 544
- DIETRICH, W.: Berechnung von Transformatoren mit Hilfe von Digitalrechnern. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 114 bis 118
- DITTMANN, J.: Die Anwendung der Transistoren in der Fernmeßtechnik. Archiv für technisches Messen Lfg. **292** (1960) R 65 und R 66
- DONNER, H.: Der Siemens-Digitalrechner 2002. Ionen und Elektronen **60** (1960) 9 bis 12
- DORSCH, H., ZUBE, B. und BRETSCHNEIDER, G.: Messungen mit Estorffschen Funkenstrecken in Hochspannungsanlagen. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 617 bis 622
- DOSCH, P. und LIESEGANG, W.: Instrumentierung des Karlsruher Forschungsreaktors FR 2. Archiv für technisches Messen Lfg. **297** (1960) R 132 und R 136
- DRAGON, A.: Der Einsatz von Bremsmotoren. Das Industrieblatt **60** (1960) 82 bis 86
- DREIKORN, M. und STOCKINGER, F.: Mehrfache Produkte von Matrizen allgemeiner Form. Archiv der elektrischen Übertragung **14** (1960) 54 bis 56
- DUSEK, H.: Ein Kriterium für die Bestimmung von Reaktorbereichen mit positivem und negativem Voidkoeffizienten. Nukleonik **2** (1960) 38 und 39
- EBENAU, S., FEIL, F. und BIDLINGMAIER, M.: Meß- und Einstellverfahren bei der Entzerrung und Überwachung von Trägerfrequenzsystemen auf symmetrischen Kabelleitungen. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 34 bis 41
- EBHARDT, R., GROSCHWITZ, E. und HOFMEISTER, E.: Oberflächenströme in Inversionsschichten an Halbleitern. Archiv der elektrischen Übertragung **14** (1960) 380 bis 396
- EBHARDT, R., GROSCHWITZ, E. und HOFMEISTER, E.: Über die elektrischen Eigenschaften ausgedehnter Strompfade in oberflächennahen Raumladungszonen von Halbleitern. Zeitschrift für angewandte Physik **12** (1960) 544 bis 557
- EDELMANN, H.: Die Inzidenzmatrizen der Schnittmengen eines Netzes. Archiv für Elektrotechnik **45** (1960) 347 bis 356
- EICHIN, W. und HEYNISCH, H.: Ein elektrisch durchstimmbarer Mikrowellenoszillator mit großem Wirkungsgrad und frequenzunabhängiger Ausgangsleistung. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 457 bis 461
- ENGEL, W., KUHR, F. und LIPPMANN, J.: Ein neues Prinzip zur kontaktlosen Signalgabe. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 323 bis 327
- ENGLER, H. D.: Legierte Silizium-Dioden als Teilchenzähler. Nukleonik **2** (1960) 215 bis 222
- ENGLER, H. D.: Über den Einzelnachweis von  $\beta$ -Teilchen mit Germanium- und Silicium-Flächendioden. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 82 bis 84
- ESCHE, R. und WENK, P.: Moderne Ultraschallanlagen für Reinigung, Entgasung und Dispergierung. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 97 bis 104
- FALCK, W. und KESSLER, G.: Elektrische Maschinen und Antriebe. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 446 bis 449
- FALKENBERG, H.: Probleme bei Ladeölpumpen mit elektrischem Antrieb. Schiff und Hafen **12** (1960) 26 bis 30
- FALKENBERG, H.: Der elektrische Antrieb von Ladeölpumpen. Hansa **97** (1960) 539 und 540
- FEIL, F., BIDLINGMAIER, M. und EBENAU, S.: Meß- und Einstellverfahren bei der Entzerrung und Überwachung von Trägerfrequenzsystemen auf symmetrischen Kabelleitungen. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 34 bis 41
- FEILCKE, H.: Projektierungsgesichtspunkte für die Primäranlagen beim dieselektrischen Schiffsantrieb. MTZ **21** (1960) 457 bis 460
- FEISSEL, W.: Ein Beitrag zur Klärung des Schaltverhaltens von Flächentransistoren. Nachrichtentechnische Fachberichte **18** (1960) 332 bis 338
- FINKBEIN, U., HOLLE, J. und TOBIES, S.: Tetroden-Fernschender für das Band IV/V. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 332 bis 338
- FISCHER, J. und BODENSTEIN, C.: Aufbau und Eigenschaften eines Zeitanagers mit endlosem Magnetband. VDPI Ing. d. Deutschen Bundespost **9** (1960) 136 bis 140
- FLOERKE, H.: Ausführung elektrischer Steuerungen mit Starkstromgeräten für Arbeitsmaschinen. Werkstatt und Betrieb **93** (1960) 191 bis 195
- FOLBERTH, O. G.: Zur Frage der chemischen Bindung in Kristallen mit  $\text{DO}_3^-$  ( $\text{BiF}_6$ )-Struktur. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 739 und 740
- FOLBERTH, O. G.: Überblick über einige physikalisch-chemische Eigenschaften der  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ -Verbindungen unter besonderer Berücksichtigung der Zustandsdiagramme. Halbleiterprobleme Bd. V (1960) 40 bis 74
- FOLBERTH, O. G.: Die Bindung in Kristallen mit »Normal-Valenz« unter besonderer Berücksichtigung der ZnS- und Wurtzit-Phasen. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 425 bis 431
- FOLBERTH, O. G.: Zur Deutung der  $\Delta\text{E}$ -Werke der ZnS-Phasen. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 432 bis 434
- FOLBERTH, O. G. und PFISTER, H.: Die Kristallstruktur von  $\text{ZnSnAs}_2$ . Acta Crystallographica **13** (1960) 199 bis 201



- FRANCK, S.: Das Verhalten von Elektrizitätszählern bei Belastungsstößen in wechselnden Energierichtungen. *Elektrizitätswirtschaft* **13** (1960) 358 bis 360
- FRANITZA, P.: Die Signalanlagen der Nord-Süd-Bahn im Rheinischen Braunkohlenrevier. *Signal und Draht* **52** (1960) 7 bis 13
- FRIEDEWALD, W., MÖRK, P. und ZWETZ, H.: Einsatz von Dampfkraftwerken im Netzbetrieb als regelungstechnische Aufgabe. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 185 bis 193
- FRIEDEWALD, W. und TERRY, F.: Automatische Ofenführung beim Siemens-Martin-Prozeß. *Archiv für technisches Messen. Lfg. 298* (1960) R 169 bis R 175
- FRIND, G.: Über das Abklingen von Lichtbögen. I. Theoretische Überlegungen. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 231 bis 237
- FRIND, G.: Über das Abklingen von Lichtbögen. II. Prüfung der Theorie an experimentellen Untersuchungen. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 515 bis 521
- FRÖHLICH, D.: Resonanzkreise bei Mikrowellenröhren und Einführung in die Wirkungsweise der Triftröhren. *Ionen und Elektronen* **60** (1960) 4 bis 7
- FUCHS, E.: Abbildung Weißscher Bezirke in dünnen ferromagnetischen Schichten mit dem elektromagnetischen Elektronenmikroskop. *Naturwissenschaften* **47** (1960) 392
- FUCHS, E. A.: »Funk-WT«, ein neues Telegraphie-Übertragungssystem in Transistor-Ausführung mit Kanälen verschiedener Bandbreite. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 419 bis 423
- FUNK, G.: Ein Fernschreib-Verzerrungsspektrometer. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 115 bis 119
- GEBAUHR, W. und MARTIN, J.: Beitrag zur Herstellung gleichmäßiger Uransichten mit definiertem Urangehalt auf Aluminium. *Atompraxis* **6** (1960) 253 und 254
- GEBAUHR, W. und SPANG, A.: Die Bestimmung geringer Selengehalte in Kupfer als Plattselenol nach Abtrennung auf trockenem Wege. *Zeitschrift für analytische Chemie* **175** (1960) 175 bis 181
- GEBAUHR, W. und SPANG, A.: Radiochemische Untersuchungen zur Reindarstellung von Antimonmetall. *Angewandte Chemie* **72** (1960) 345 bis 348
- GILLITZER, E. und HERZ, R.: Rundhohlleiter für Breitband-Richtfunksysteme. *Frequenz* **14** (1960) 347 bis 357
- GOLD, O.: Reaktanzschaltungen aus elektromagnetisch gekoppelten Leitungen in der Dezimeterwellentechnik. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 15 bis 23
- GOSSLAU, K.: Die Technik der Nachrichtenverarbeitung am Beispiel des Siemens-Digitalrechners »2002«. *Neue Technik* **2** (1960) 17 bis 23
- GRASSMANN, H. C.: Gußkern Trocknung mit Hochfrequenzöfen. *Elektrowärme* **18** (1960) 323 bis 328
- GREMMELMAIER, R. und HERTZ, C. H.: Miniature Semiconductor Dose Rate Meter. *Acta Radiologica* **54** (1960) 69 bis 80
- GROSS, F.: Verzögerungsleitungen für Wanderfeldröhren. *Ionen und Elektronen* **60** (1960) 24 bis 28
- GROSCHWITZ, E.: Zur Frage neuer Möglichkeiten der Verstärkung durch Trägerbewegungen in Halbleitern. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 370 bis 382
- GROSCHWITZ, E.: Zur Frage neuer Möglichkeiten der Verstärkung durch Trägerbewegungen in Halbleitern. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 400 bis 410
- GROSCHWITZ, E., HOFMEISTER, E. und EBHARDT, R.: Oberflächenströme in Inversionsschichten an Halbleitern. *Archiv der elektrischen Übertragung* **14** (1960) 380 bis 396
- GROSCHWITZ, E., HOFMEISTER, E. und EBHARDT, R.: Über die elektrischen Eigenschaften ausgedehnter Strompfade in oberflächennahen Raumladungszonen von Halbleitern. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 544 bis 557
- GÜNTHER, K.-G. und HÄNLEIN, W.: Herstellung und Eigenschaften von Mehrkomponentenschichten durch Vakuumbedampfung. *Advances in Vacuum Science and Technology. Vol. II* Pergamon Press. **II** (1960) 727 bis 733
- GUTSCHE, H.: Einsatz von Echoentzerrern in der Trägerfrequenzlage von Breitband-Übertragungsstrecken. *Frequenz* **14** (1960) 295 bis 299
- VON GUTTENBERG, W. und HOCHRATH, H.: Ein Kompander für Rundfunkprogramm-Übertragung. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 9 bis 15
- HAAGER, K., HARTMANN, F. und UITTING, O.: Gesichtspunkte für die Planung von reinen Pumpspeicherwerken. *Elektrizitätswirtschaft* **13** (1960) 307 bis 315
- HAAS, H.-L.: Bestimmung der Eigenwerte des allgemeinen Eigenwertproblems. *Numerische Mathematik* **2** (1960) 341 bis 343
- HACKER, W.: Ein neuer Obus-Fußfahrschalter. *Der Stadtverkehr* **5** (1960) 84 und 85
- HÄNLEIN, W.: Die technologischen Probleme bei der Anwendung des Peltiereffekts. *Kältetechnik* **12** (1960) 137 bis 144
- HÄNLEIN, W. und GÜNTHER, K.-G.: Herstellung und Eigenschaften von Mehrkomponentenschichten durch Vakuumbedampfung. *Advances in Vacuum Science and Technology. Vol. II* Pergamon Press. **II** (1960) 727 bis 733
- HAFFA, A., NOVAK, H. und LOTTES, G.: Das Pumpspeicherwerk Happurg der Großkraftwerk Franken AG. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* **9** (1959/60) 187 bis 199
- HAHN, G.: Das TELEPNEU-Multipliziergerät. *Feinwerktechnik* **64** (1960) 343 bis 346
- HAKEN, W.: Die Berechnung von zweistufigen Hohlleiter-Transformatoren. *Frequenz* **14** (1960) 126 bis 131
- HARDERS, W.: Der elektrische Antrieb von Seekabelwinden. *Schiff und Hafen* **12** (1960) 18 bis 22
- HARDERS, W.: Neuzeitliche Antriebe für Kabelwinden. *Hansa* **97** (1960) 543 und 544
- HARLOFF, H. J.: Anforderungen an Schalttransistoren in Digitalrechnern. *Nachrichtentechnische Fachberichte* **18** (1960) 115 bis 118
- HARTMANN, L.: Neue Sicherungen für Gleichstrombahnen bis 750 V. *Nahverkehrspraxis* **8** (1960) 365 bis 370
- HARTMANN, L.: Neue Überspannungsableiter für 1500-V-Gleichstrombahnen. *Elektrische Bahnen* **31** (1960) 226 bis 228
- HARTMANN, F., UITTING, O. und HAAGER, K.: Gesichtspunkte für die Planung von reinen Pumpspeicherwerken. *Elektrizitätswirtschaft* **13** (1960) 307 bis 315
- HARTMUTH, L. und KOSCHEL, H.: Relais-Röhre-Transistor in der Nachrichtentechnik. *Elektro-Jahr* (1959/60) 132 bis 134
- HELD, W. und WENZEL, K.: Dielektrische Verluste durch Ionenleitung im geschichteten Dielektrikum. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 121 bis 127
- HEMMER, N. und WILIMZIG, H.: Das überwachte Sicherheitssystem für Kernreaktoren. *Atompraxis* **6** (1960) 392 bis 396
- HEMME, F.: Der Drehmelder, ein Bindeglied zwischen Mechanik und Elektrotechnik. *Feinwerktechnik* **64** (1960) 142 bis 146
- HENKE, O. und STRICKER, G.: Die Technik der Hohlleiter. *Frequenz* **14** (1960) 94 bis 104

- HERMSTEIN, W.: Einfluß von Vorentladungen auf das Überschlagsverhalten grundsätzlicher Stützeranordnungen in Luft. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 413 bis 421
- HERTZ, C. H. und GREMMELMAIER, R.: Miniature Semiconductor Dose Rate Meter. *Acta Radiologica* **54** (1960) 69 bis 80
- HERZ, R.: Breitbandige Parabolantennen mit Wendeln als Primärstrahler für Dezimeterwellen. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 109 bis 114
- HERZ, R. und GILLITZER, E.: Rundhohlleiter für Breitband-Richtfunksysteme. *Frequenz* **14** (1960) 347 bis 357
- HEYNSCH, H.: Der Resonanz-Rückwärtswellen-Oszillator, ein Generator für Mikrowellen. *Archiv der elektrischen Übertragung* **14** (1960) 531 bis 538
- HEYNSCH, H.: Physikalische Grundlagen der Wanderfeld-Leistungsröhre. Ionen und Elektronen **60** (1960) 21 bis 25
- HEYNSCH, H. und EICHIN, W.: Ein elektrisch durchstimmbarer Mikrowellenoszillator mit großem Wirkungsgrad und frequenzunabhängiger Ausgangsleistung. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 457 bis 461
- HILDINGER, E.: Das Selex-System. *VDI-Zeitschrift* **102** (1960) 409 bis 413
- HIELSCHER, W.: Was leisten elektronische Rechenanlagen auf kommerziellem Gebiet? *Bürotechnik und Organisation* **8** (1960) 254 bis 258
- HINSCHKE, K.: Siemens-Lochstreifenübertrager 1-Loch 15. *Feinwerktechnik* **64** (1960) 409 bis 413
- HINZE, A.: Aufnahmegerät zur gleichzeitigen Aufzeichnung einer Mitten- und Randspur auf perforiertem 16-mm-Magnettonfilm. *Kino-Technik* **42** (1960) 16 bis 22
- HOCHRATH, H. und VON GUTTENBERG, W.: Ein Kompander für Rundfunkprogramm-Übertragung. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 9 bis 15
- HOFMEISTER, E., EBHARDT, R. und GROSCHWITZ, E.: Oberflächenströme in Inversionsschichten an Halbleitern. *Archiv der elektrischen Übertragung* **14** (1960) 380 bis 396
- HOFMEISTER, E., EBHARDT, R. und GROSCHWITZ, E.: Über die elektrischen Eigenschaften ausgedehnter Strompfade in oberflächennahen Raumladungszonen von Halbleitern. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 544 bis 557
- HOLLE, J., TOBIES, S. und FINKBEIN, U.: Tetroden-Fernschender für das Band IV/V. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 332 bis 338
- HONRATH-BARKHAUSEN, M. und DIETRICH, I.: Untersuchungen des Materialtransportes an elektrischen Abhebekontakten mit Hilfe radioaktiver Isotope. *Zeitschrift für angewandte Physik* **12** (1960) 538 bis 544
- HOUSER, E.: Überstromselbstschalter für elektrische Gleichstrom-Nahverkehrsfahrzeuge. *Nahverkehrspraxis* **8** (1960) 307 bis 310
- HÜBNER-KOSNEY, R.: Transistoren in der Steuerungs- und Regelungstechnik. *Energie und Technik* **12** (1960) 352 bis 355
- ILLENBERGER, K. und OHMANN, F.: Der Magnetkern-Pufferspeicher, ein vielseitiger Baustein für Nachrichtenverarbeitungssysteme. *Elektronische Rechenanlagen* **2** (1960) 16 bis 22
- JANISCH, H.: Die maschinelle Fertigungsdisposition Teil 1: Die maschinelle Fertigungsposition im Rahmen einer integrierten Datenverarbeitung. *Elektronische Rechenanlagen* **2** (1960) 168 bis 171
- JÄNTSCH, O.: Sperrkennlinien mit Oberflächendurchbruch von Silicium-p Sp n-Gleichrichtern. *Zeitschrift für Naturforschung* **15a** (1960) 302 bis 307
- JÄNTSCH, O.: Das Sperrverhalten von Siliziumgleichrichtern in feuchten Gasen. *Zeitschrift für Naturforschung* **15a** (1960) 141 bis 149
- JENTSCH, G. und SCHUBERT, F.: Linienschreiber in der Betriebsmeßtechnik. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* **68** (1960) 45 bis 54
- JOHN, S.: Der Schwingkreisverstärker. *Elektronische Rundschau* **14** (1960) 349 bis 351
- JORDAN, D.: Sicherheit bei der Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft. *Elektro-Anzeiger* **13** (1960) 198 bis 200
- JUNG, M. und WELZ, E.: Schutzgaskontakte in Koaxialrelais für den Nachrichten-Weitverkehr. *Frequenz* **14** (1960) 392 bis 396
- JUNGWIRTH, G.: Netzmodelle – die ersten elektrischen Großrechenanlagen. *Elektro-Welt C 5* (1960) 38 und 39
- KADEGGE, G.: L'accouplement à ressort de torsion-nouvel élément d'entraînement pour les métiers à tisser. *Melliand Textilberichte* **41** (1960) 117 bis 120
- KAISER, W.: Lichtstrahl-Oszillographen für die Registrierung elektrischer und nichtelektrischer Größen. *Elektronik* **9** (1960) 193 bis 198
- KALTENECKER, H.: Einiges über Begriffe, Aufgaben, Methoden und Hilfsmittel der Steuerungstechnik. *Regelungstechnik* **8** (1960) 73 bis 78
- KALTENECKER, H.: Methoden und Anwendungsgebiete der Extremwert- und Extremort-Auswahl. *Regelungstechnik* **8** (1960) 293 bis 297
- KALTENECKER, H. und PIROUZAN, A.: Ein kontaktloses Prozeß-Signalsystem. *Elektrotechnische Zeitschrift B* **12** (1960) 515 bis 520
- KAMMERER, W.: Elektrodynamische Regulierung von Pendeluhren. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 392 bis 397
- KESSEL, G., OTTMANN, A. und TOUSSAINT, H.-N.: Germanium-Tunneldioden für das Hochfrequenzgebiet. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **13** (1960) 191 bis 195
- KESSLER, C. und ANKE, K.: Theorie und Schaltungstechnik der Registerregelung. *Regelungstechnik* **8** (1960) 233 bis 238
- KESSLER, G. und FALCK, W.: Elektrische Maschinen und Antriebe. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 446 bis 449
- KESSLER, H.-W.: Das Strahlenschreiberprinzip. Ein Direktschrittvorfahren mit Flüssigkeitsstrahl. *Archiv für technisches Messen. Lfg.* **299** (1960) J 031 bis 19
- KESTEN, U.: Netzgestaltung im Fernschreibbetrieb. *Fernmeldepraxis* **37** (1960) 865 bis 874
- KETTLER, H.: Normal-Spannungswandler höchster Genauigkeit. *Archiv für technisches Messen. Lfg.* **297** (1960) Z 32 bis 2
- KIEHL, F. und MÜLLER, M.: Beleuchtung des Weserstadions Bremen durch Flutlicht. *Lichttechnik* **12** (1960) 200 bis 202
- KIRSCHNER, U.: Aus der Geschichte der atlantischen Kabel. *Elektrotechnische Zeitschrift B* **13** (1960) 10 bis 14
- KLAMT, J.: Die Schwingungsdämpfung der elektrischen Schlupfkupplung bei Diesel-Schiffsantrieben. *Schiff und Hafen* **12** (1960) 5 bis 7
- KLEIN, P. E., LANGE, W. und BIENECKE, O.: Der »Elektronenstrahl-Oszillomat«, eine direktschreibende Registriereinrichtung mit Braunschen Röhren. *Archiv für technisches Messen. Lfg.* **297** (1960) R 141 bis R 146
- KNOTT, C.: Über die Ursachen der Produktivitätssteigerung in Produktionsstätten der Industrie. *Rationalisierung* **11** (1960) 149 bis 172
- KOELBL, A.: Puls-Phasen-Modulations-System für 60 Fernsprechkreise. *Frequenz* **14** (1960) 357 bis 359



- KOPP, H., THEUS, R. und BODE, K.: Kanalumsetzer mit Transistoren für Trägerfrequenz-Fernsprech-Systeme. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 465 bis 469
- KOSCHEL, H. und HARTMUTH, L.: Relais-Röhre-Transistor in der Nachrichtentechnik. Elektro-Jahr (1959/60) 132 bis 134
- KRAUSHAAR, E.: Ein neues Auswertegerät für statistische Ermittlungen. Elektrizitätswirtschaft **20** (1960) 1 bis 6
- KUHRT, F., LIPPMANN, J. und ENGEL, W.: Ein neues Prinzip zur kontaktlosen Signalgabe. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 323 bis 327
- KÜRNER, H.: Digitale Meßmethoden als Grundlage der selbsttätigen Regelung. Automatik **5** (1960) 362 bis 370
- KUTZELNIGG, A.: Die Ferroxyprobe. Werkstoffe und Korrosion **11** (1960) 162 bis 171
- KUTZELNIGG, A.: Poren in galvanischen Überzügen Grundsätzliche Betrachtungen. Metalloberfläche **14** (1960) 81 bis 84
- LABUS, J.: Rauscharmer Elektronenstrahl-Verstärker. Archiv der elektrischen Übertragung **14** (1960) 49 bis 53
- LANG, M. und REMPKA, J.: Aufbau der elektronischen Gleisbremsensteuerung, Bauform Siemens & Halske AG. Signal und Draht **52** (1960) 49 bis 57
- LANGE, W., BIENECKE, O. und KLEIN, P. E.: Der »Elektronenstrahl-Oszillomat«, eine direktschreibende Registriereinrichtung mit Braunschen Röhren. Archiv für technisches Messen. Lfg. **297** (1960) R 141 bis R 146
- LARSEN, H.: Übertragungseigenschaften von  $H_{01}$ -Hohlleitungen mit statistisch verteilten Unregelmäßigkeiten. Frequenz **14** (1960) 135 bis 142
- LAUB, H. und STÖHR, W.: Zuleitungen für hochbelastbare Dezimeterwellen-Antennen. Frequenz **14** (1960) 142 bis 155
- LAUB, H.: Dipolgruppen für Sendeantennen in den Fernsehbereichen TV/V. Frequenz **14** (1960) 327 bis 334
- LEHMANN, R.: Betrieb von Leuchtstofflampen mit Transistorwechselrichtern. Lichttechnik **12** (1960) 449 bis 451
- LEHMANN, R.: Die Xenon-Hochdruck- und Hochdruck-Longbogenlampen und ihre Bedeutung für die Praxis. Kintotechnik **42** (1960) 81 bis 87
- LEYSIEFFER, H.: Nichtlineare Verzerrungen durch Laufzeiteinflüsse in Eingitterröhren. Archiv der elektrischen Übertragung **14** (1960) 269 bis 282
- LIEBSCHER, R.: Das Rauschen in Laufzeitröhren. Ionen und Elektronen **60** (1960) 18 bis 21
- LIEGMANN, E.: Ignitron-Steuerungen für Widerstandsschweißmaschinen in SIMATIC-Bauweise. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung **55** (1960) 199 bis 202
- LIENEWEG, F. und SCHALLER, A.: Neuere technische Strahlungs-pyrometer unter besonderer Berücksichtigung ihres optischen Aufbaues. Archiv für technisches Messen. Lfg. **299** (1960) J 321-9
- LIESEGANG, W.: Halbleiter in der Reaktorinstrumentierung. Archiv für technisches Messen. Lfg. **299** (1960) R 61 bis R 64
- LIESEGANG, W.: Die Überwachung und Regelung von LD-Tiegeln mit TELEPERM-Geräten. Regelungstechnische Praxis **2** (1960) 120 bis 124
- LIESEGANG, W. und DOSCH, P.: Instrumentierung des Karlsruher Forschungsreaktors FR 2. Archiv für technisches Messen. Lfg. **297** (1960) R 132 bis R 136
- LIPPMANN, J., ENGEL, W. und KUHRT, F.: Ein neues Prinzip zur kontaktlosen Signalgabe. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 323 bis 327
- LOCKEMANN, W.: Ein Rechnerprogramm zur Erzeugung von lateinischen Quadraten. Elektronische Rechenanlagen **2** (1960) 129 und 130
- LOTTE, G., HAFFA, A. und NOVAK, H.: Das Pumpspeicherwerk Happurg der Großkraftwerk Franken AG. Energiewirtschaftliche Tagesfragen **9** (1959/60) 187 bis 199
- MACEK, O.: Die neuere Entwicklung der Oszillographie. Frequenz **14** (1960) 22 bis 26
- MAECKER, H.: Messung und Auswertung von Bogencharakteristiken ( $A_r, N_g$ ). Zeitschrift für Physik **158** (1960) 392 bis 404
- MARTIN, J. und GEBAUHR, W.: Beitrag zur Herstellung gleichmäßiger Uranschnitten mit definiertem Urangehalt auf Aluminium. Atompraxis **6** (1960) 253 und 254
- MELCHINGER, A.: Beherrschung der Erwärmungs- und Kurzschlußprobleme bei Großtransformatoren. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 47 bis 52
- MERZ, L.: Entwicklungslinien des Messens und Regels in der Wärme- und Verfahrenstechnik. VDI-Zeitschrift **102** (1960) 1423 bis 1432
- METZELER, A. F.: Beleuchtungsanlagen frühzeitig planen. Der Elektro-Fachmann **60** (1960) 242 bis 244
- METZELER, A.: Schaufensterbeleuchtung – sinnvoll geplant. Der Elektro-Fachmann **60** (1960) 322 bis 326
- MEYER, F.: Gerätetechnische Lösungen auf dem Gebiet der Verbundregelungen. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 209 bis 218
- MEYERER, P.: Elektronenoptische Probleme bei Laufzeitröhren. Ionen und Elektronen **60** (1960) 6 bis 10
- MITTERER, R.: Bestimmung von Frequenzschwankungen mit einer Unsicherheit von  $10^{-9}$  bis  $10^{-13}$  durch digitale Periodendauer-Messung einer Schwebung. Frequenz **14** (1960) 157 bis 162
- MITTERER, R.: Ein aperiodischer Frequenzvervielfacher für den Tonfrequenzbereich. Frequenz **14** (1960) 14 bis 16
- MÖRK, P., ZWETZ, H. und FRIEDEWALD, W.: Einsatz von Dampfkraftwerken im Netzbetrieb als regelungstechnische Aufgabe. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 185 bis 193
- MÜLLER, A.: Zur Theorie der Resonanzabsorption von Neutronen in heterogenen Reaktoren, Teil I. Nukleonik **2** (1960) 54 bis 67
- MÜLLER, A.: Zur Theorie der Resonanzabsorption von Neutronen in heterogenen Reaktoren, Teil II. Nukleonik **2** (1960) 67 bis 73
- MÜLLER, F.: Die Technik der Zusatzeinrichtung für wechselweise ein- und zweigleisigen Betrieb bei Dr-Stellwerken der Bauformen Siemens. Signal und Draht **52** (1960) 151 bis 155
- MÜLLER, K.-H.: Berechnung von ZF-Verstärkern mit Transistoren. Radio Mentor **26** (1960) 184 bis 188
- MÜLLER, M. und KIEHL, F.: Beleuchtung des Weserstadions Bremen durch Flutlicht. Lichttechnik **12** (1960) 200 bis 202
- NEBGEN, G.: Die Kompensation elektrischer Antriebe an Landmaschinen. Elektro-Welt **5** (1960) 39 bis 41
- NEEB, K. H.: Flammenphotometrische Bestimmung geringer Natriumgehalte in Aluminiummetall. Zeitschrift für analytische Chemie **174** (1960) 328 bis 333
- NEFF, H.: Röntgenographische Analysenverfahren. VDI-Zeitschrift **102** (1960) 1433 bis 1437
- NEUMANN, A. und SCHULZ, G.: Der Inframeter, ein neues Betriebsgerät zur Infrarot-Gasanalyse ohne spektrale Zerlegung. Chemie-Ingenieur-Technik **32** (1960) 669 bis 674
- NIEMEYER, R. und PAHL, W.: Bild- und Tonanlagen für Autokinos. Kino-Technik **42** (1960) 179 bis 182



- NOVAK, H., LOTTES, G. und HAFFA, A.: Das Pumpspeicherwerk Happing der Großkraftwerk Franken AG. Energiewirtschaftliche Tagesfragen **9** (1959/60) 187 bis 199
- OEMIGK, J.: Elektrische Waagen in Hüttenwerken. Stahl und Eisen **80** (1960) 1411 bis 1414
- OFFNER, M. und DEUTSCH, J.: Ein magnetisch regelbares, koaxiales Dämpfungsglied mit kleiner Grunddämpfung. Frequenz **14** (1960) 344 bis 347
- OHMANN, F. und ILLENBERGER, K.: Der Magnetkern-Pufferspeicher, ein vielseitiger Baustein für Nachrichtenverarbeitungs-Systeme. Elektronische Rechenanlagen **2** (1960) 16 bis 22
- OSSMANN, K.: Accionamiento y mando de una mechera moderna. Melland Textilberichte **41** (1960) 35 bis 39
- OTT, W.: Die Beleuchtung des Nürnberger Großmarktes. Lichttechnik **12** (1960) 123 und 124
- OTTEN, F.: Starkstromkabel und -leitungen. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 468 bis 471
- OTTER, M.: Handvermittlungsplätze für Fernschreibwählanlagen. Polizei, Technik und Verkehr, Sonderausgabe IV/60, 85 und 86
- OTTMANN, A., TOUSSAINT, H.-N. und KESSEL, G.: Germanium-Tunneldioden für das Hochfrequenzgebiet. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 191 bis 195
- OTTO, A.: Das Buckelschweißen von Stahl. Elektrotechnik und Maschinenbau **77** (1960) 305 bis 307
- OTTO, A. und CZECH, F.: Das Buckelschweißen, ein wirtschaftliches Fertigungsverfahren. Technische Rundschau **52** (1960) 17 bis 25
- PAHL, W.: Ein Verstärker-Bausteinssystem für Lichtspieltheater. Kinotechnik **42** (1960) 41 bis 45
- PAHL, W.: Tonfilmlautsprecher nach dem Bausteinssystem. Ton-technik **60** (1960) 73 und 74
- PAHL, W. und NIEMEYER, R.: Bild- und Tonanlagen für Autokinos. Kino-Technik **42** (1960) 179 bis 182
- PALM, J.: Gekrümmte Trapez-Biegefedern. VDI-Zeitschrift **102** (1960) 653 bis 659
- PALM, J.: Elektromechanische Wellenfilter. VDI-Nachrichten **14** (1960) 11
- PANZERBIETER, H.: Elektronische Vermittlungstechnik. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 881 bis 889
- PAWLITZKI, U.: Das Kattara-Projekt Ein Mehrzweckprojekt in Ägypten für Landeskultur und Energieerzeugung durch ein 1000-MW-Wasserkraftwerk. Elektrizitätswirtschaft **13** (1960) 338 bis 342
- PFISTER, H. und FOLBERTH, O.G.: Die Kristallstruktur von  $\text{ZnSnAs}_2$ . Acta Crystallographica **13** (1960) 199 bis 201
- PIEFKE, G.: Die Wendel als Übertragungsleitung für Hohlleiterwellen. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 335 bis 341
- PIEFKE, G.: Wendelleitung als Verzögerungsleitung. Archiv der elektrischen Übertragung **14** (1960) 15 bis 25
- PIEFKE, G.: Die Wendel als Verzögerungsleitung. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 370 bis 374
- PILZ, G.: Ein vielseitiger Kurzwellenempfänger. Radio Mentor **26** (1960) 969 bis 973
- PIROUZAN, A. und KALTENECKER, H.: Ein kontaktloses Prozeß-Signalsystem. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 515 bis 520
- PLESCH, R.: Praxis der Strahlenschutzberechnung im Sinne geltender Vorschriften. Atompraxis **6** (1960) 348 bis 352
- PLESCH, R.: Ein einfacher und allgemeiner Ausdruck für die Oberflächenendosis bei der Pendelbestrahlung. Strahlentherapie **112** (1960) 443 bis 450
- PLESCH, R.: Strahlenschutz vor geschlossenen Strahlenquellen. VDI-Zeitschrift **102** (1960) 685 bis 689
- PREIS, W. und ANKE, K.: Neue Registerregelung beim Rotationsdruck mittels Transistoren. Zeitungs- und Zeitschriften-Verlag **60** (1960) 368 bis 370
- PREISS, P.: Der Extremwertsucher, ein kontaktloses Extremwert- und Extremort-Auswahlgerät. Regelungstechnik **8** (1960) 359 bis 363
- RAUCH, W.: Auswertung der Phasenverschiebung und des Effektivwertes des Stromes aus Oszillogrammen. Archiv für technisches Messen. Lfg. **299** (1960) R 181 bis R 184
- RAUCH, W. und UEBERSCHUSS, A.: Mechanische Schwingssysteme als einfache Bauteile für Signalübertragungen. Frequenz **14** (1960) 363 bis 368
- RAUCH, W. und UEBERSCHUSS, A.: Das Einzungen-Resonanzrelais, ein vielseitig verwendbares Bauelement. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 300 bis 305
- REBSKE, E.: Die zweckmäßige Beleuchtung von Fleischereien. Das Fleischer-Handwerk **10** (1960) 43 bis 45
- REBSKE, E.: Die Anwendung der Einzelplatz-Beleuchtung. Elektrotechnischer Anzeiger **77** (1960) 205 und 206
- REBSKE, E.: Die Beleuchtung in der chemischen Industrie und Betriebsräumen ähnlicher Art. Elektro-Welt B **5** (1960) 85 bis 87
- REBSKE, E.: Shadow forms and reflected images. Light and Lighting **53** (1960) 39 bis 41
- REBSKE, E.: Beleuchtung von Schlachthöfen und Fleischereien. Das Elektrofach **2** (1960) 22 und 23
- REESE, A.: Lochkartensteuerungen für Mälzereien und Brauereien. Brauwelt **100** (1960) 1973 bis 1978
- REIPLINGER, E.: Möglichkeiten weiterer Geräuschbekämpfung bei Großtransformatoren. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 102 bis 108
- REMPKA, J. und LANG, M.: Aufbau der elektronischen Gleisbremsensteuerung Bauform Siemens & Halske AG. Signal und Draht **52** (1960) 49 bis 57
- RENNER, TH.: Die thermodynamischen Daten und Dampfdrucke der wichtigsten III-V-Verbindungen. Pergamon Press **1** (1960) 39 bis 45
- RHEIN, H. und BEHNKE, H.: Wirtschaftliche Lage der Fernmeldeindustrie. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 440 bis 442
- RIMMARK, L.: Schutz- und Hilfsrelais. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 466 bis 468
- RINN, H. F.: Entwicklungstendenzen bei Oszillationszählern. Atomwirtschaft **5** (1960) 465 bis 468
- RINN, H. F.: Meßmethoden der Kernphysik. Elektronische Rundschau **14** (1960) 397 bis 400
- RISTER, A.: Leuchtstofflampen – gespeist von der Batterie. Das Nutzfahrzeug **60** (1960) 308
- RJOSK, H.: Aufgaben und Technik des Fernamtes in vollautomatisierten Fernverkehrsnetzen. Ingenieur der Deutschen Bundespost **9** (1960) 14 bis 20
- ROCH, J.: Die Beleuchtungsstärke – Berechnung bei kreisförmigen Lichtbändern. Lichttechnik **11** (1960) 616 und 617
- ROCH, J.: Straßenbeleuchtung und ihre Bewertung. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift **3** (1960) 185 bis 188
- ROCH, J.: Die Beleuchtung der Stationen an der Autobahn Mailand-Neapel. Verkehr und Technik **13** (1960) 14 bis 60
- ROTH, K.: Die Kennlinie von einfachen und zusammengesetzten Reibsystemen. Feinwerktechnik **64** (1960) 135 bis 142
- ROTHER, P.: Der Nutzen der selbsttätigen Verkehrsregelung für den Straßenbahnverkehr. Nahverkehrs-Praxis **8** (1960) 42 bis 45



- ROTHER, P.: Automatische Signalanlagen im modernen Verkehrswesen. *Elektro-Jahr 1959/60* 75 bis 78
- RÜCHARDT, H.: Sonderformen von Hochfrequenztransistoren. *Nachrichtentechnische Fachberichte* 18 (1960) 39 bis 47
- RUDOLPH, CH.: Ionisierte Gasströme ersetzen Turbogeneratoren. *Elektro-Technik* 42 (1960) 122 bis 125
- RUDOLPH, CH.: Elektrizität aus Plasmaströmen. *Energie und Technik* 12 (1960) 315 bis 318
- RUDOLPH, CH.: Wirtschaftliche und sichere Stromversorgung größerer Anlagen. *Der Elektromeister* 13 (1960) 606 bis 610 und 711 bis 714
- RUPPRECHT, H., WEBER, R. und WEISS, H.: Über die galvanomagnetischen Eigenschaften von InSb-Einkristallen mit Te-Datierung. *Zeitschrift für Naturforschung* 15a (1960) 783 bis 794
- RUSCHEWEYH, J.: Örtliche Druckluftregelung mit Reduzierstationen. *Regelungstechnische Praxis* 2 (1960) 111 bis 114
- SEDLMAYR, O.: Die automatische Prüfeinrichtung für das Wählsystem 55. *VDPI. Ing. d. Dt. Bundespost* 9 (1960) 78 bis 84
- SEIFFARTH, W.: Elektronenlaufzeiteffekte bei Sendetetroden für das Fernsehband IV/V. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 491 bis 498
- SEYBOLD, M.: Spannende Werkzeugmaschinen. *VDI-Zeitschrift* 102 (1960) 663 bis 668
- SHAH, K. R.: Capitalization of Losses in Transformers. *Power Engineer* 10 (1960) 7 bis 15
- SINGER, E.: Der Porzellansand von Haig (Landkreis Kronach). *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.* 37 (1960) 517 bis 519
- SPANG, A. und GEBAUHR, W.: Die Bestimmung geringer Selengehalte in Kupfer als Piazselenol nach Abtrennung auf trockenem Wege. *Zeitschrift für analytische Chemie* 175 (1960) 175 bis 181
- SPANG, A. und GEBAUHR, W.: Radiochemische Untersuchungen zur Reindarstellung von Antimonmetall. *Angewandte Chemie* 72 (1960) 345 bis 348
- SPINDLER, W.: Die Unterdrückung parasitärer Spaltresonanzen an kontaktlosen Kurzschlußkolben für koaxiale Schwingkreise. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 554 bis 560
- SCHABERT, H. P.: Druckwasserreaktoren. *Elektrotechnik und Maschinenbau* 77 (1960) 543 bis 557
- SCHALLER, A. und LIENEWEG, F.: Neuere technische Strahlungspyrometer unter besonderer Berücksichtigung ihres optischen Aufbaues. *Archiv für technisches Messen Lfg.* 299 (1960) J 321-9
- SCHINN, R.: Werkstoff- und Werkstückeigenschaften. *Konstruktion* 12 (1960) 441 bis 447
- SCHINN, R.: Erfahrungen mit der zerstörungsfreien Prüfung von Stahlguß für den Dampfturbinenbau. *Materialprüfung* 2 (1960) 233 bis 236
- SCHINN, R.: Einführung zur Diskussionstagung »Sinnvolle Anwendung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung«. *Materialprüfung* 2 (1960) 229 und 230
- SCHLICHTE, M. und CHRISTIANSEN, H. M.: PPM 60 – ein transistorisiertes Pulsphasen-Modulationsgerät für 60 Kanäle. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* 13 (1960) 392 bis 399
- SCHLICK, K.: TELEPERM-Zeitglied und elektromechanischer TELEPERM-Rechner. *Regelungstechnik* 8 (1960) 270 bis 273
- SCHMELCHER, TH.: NH-Sicherungen der Größe 00 am Hausanschluß. *Elektrizitätswirtschaft* 13 (1960) 765 bis 769
- SCHMELCHER, TH.: Selektivität und Unterspannungsschutz in Niederspannungs-Anlagen. *Elektro Welt B 5* (1960) 97 bis 99
- SCHMIDTNER, K.: Kleine Pegel-Meßgeräte für den NF-Bereich. *Ing. d. Dt. Bundespost* 9 (1960) 22 bis 26
- SCHMIEDING, G. und STIGLITZ, J.: Der dieselektrische Eisbrecher »Moskva«. *Schiff und Hafen* 12 (1960) 963 bis 975
- SCHNEIDER, J. und UNGRUH, F.: Berechnung elektrischer Ausgleichswellen bei Reihenschaltung der Ständerwicklungen. *Elektrotechnische Zeitschrift A* 81 (1960) 366 bis 369
- SCHNETZLER, K.: Die Reflexion der Grundwelle an den Knickstellen eines Hohlleiters, insbesondere bei einem stetigen Übergang von einem rechteckigen auf einen runden Hohlleiter. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 177 bis 182
- SCHNETZLER, K.: Die Mitführung der Polarisation bei der Verwindung eines quadratischen Hohlleiters. *Frequenz* 14 (1960) 123 bis 126
- SCHNETZLER, K.: Zur Anregung höherer Wellentypen in Hohlleiterübergängen. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 425 bis 431
- SCHNETZLER, K.: Die Anregung von Wellentypen höherer Ordnung durch die Grundwelle an einer Versatzstelle zweier runder Hohlleiter. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 421 bis 424
- SCHÖNINGER, E.: Verstärkung kleiner Gleichspannungen mit Hilfe des Transistor-Meßzerhackers. *Radio-Mentor* 26 (1960) 046 und 047
- SCHREIBER, F.: Der Transfluxor als Verstärker. *Nachrichtentechnische Fachberichte* 21 (1960) 76 bis 86
- SCHREINER, H.: Aufbringen von Kontaktwerkstoffen auf Trägermetalle. *Fachbuchreihe »Schweißtechnik«*. Band 17 (1960) 1 bis 7
- SCHUBERT, F. und JENTSCH, G.: Linienschreiber in der Betriebsmeßtechnik. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 68 (1960) 45 bis 54
- SCHUBERT, H.-P.: Druckwasserreaktoren. *Elektrotechnik und Maschinenbau* 77 (1960) 543 bis 557
- SCHUEGRAF, E.: Eine Polarisationsweiche mit symmetrischer Anregung der  $H_{11}$ -Wellen. *Frequenz* 14 (1960) 121 bis 123
- SCHULZ, G. und NEUMANN, A.: Der Inframeter, ein neues Betriebsgerät zur Infrarot-Gasanalyse ohne spektrale Zerlegung. *Chemie-Ingenieur-Technik* 32 (1960) 669 bis 674
- SCHWEIBOLD, E.: Der Hall-Effekt und seine technische Anwendung. *Archiv für technisches Messen Lfg.* 296 (1960) V 943-3
- STAROSTE, E.: Neuartige Fahrzeugbeleuchtung mit Hilfe von Transistor-Wechselrichter-Vorschaltgeräten. *Der Stadtverkehr* 5 (1960) 41 und 42
- STAUFFERT, F.: Blitzlampen als optische Landehilfe auf Flugplätzen. *Lichttechnik* 12 (1960) 295 bis 297
- v. STENGEL, H.: Transformatoren mit Silikon-Isolierung. *Der Elektromeister* 60 (1960) 406 bis 412
- STIGLITZ, J. und SCHMIEDING, G.: Der dieselektrische Eisbrecher »Moskva«. *Schiff und Hafen* 12 (1960) 963 bis 975
- STOCKINGER, F. und DREIKORN, M.: Mehrfache Produkte von Matrizen allgemeiner Form. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 54 bis 56
- STÖHR, W. und LAUB, H.: Zuleitungen für hochbelastbare Dezimeterwellen-Antennen. *Frequenz* 14 (1960) 142 bis 155
- STÖHR, W. und ZINKE, O.: Wege zum optimalen Breitband-Rundstrahler. *Frequenz* 14 (1960) 26 bis 35
- STÖRMER, H.: Ein statistisches Verfahren für Lebensdauervorausagen bei nachrichtentechnischen Anlagen. *Archiv der elektrischen Übertragung* 14 (1960) 217 bis 224
- STÖRMER, H.: Über ein Warteproblem aus der Vermittlungstechnik. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* 40 (1960) 236 bis 246



- STRICKER, G. und HENKE, O.: Die Technik der Halbleiter. Frequenz **14** (1960) 94 bis 104
- STRÖLE, D. und VOGL, H.: TRANSIDYN-Regelungen für Walzwerk-antriebe. Regelungstechnik **8** (1960) 194 bis 201
- STUBERT, K.-F.: Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke bei Straßenbeleuchtungsanlagen. Lichttechnik **12** (1960) 69 bis 72
- STURM, v., F.: Anwendbarkeitsgrenzen der polarographischen Methode in der anorganischen Analyse. Zeitschrift für analytische Chemie **173** (1960) 11 bis 17
- TERRY, F. und FRIEDEWALD, W.: Automatische Ofenführung beim Siemens-Martin-Prozeß. Archiv für technisches Messen Lfg. **298** (1960) R 169 und R 175
- THEILSIEFJE, K.: Was kosten Netzverluste? Elektrizitätswirtschaft **13** (1960) 179 bis 184
- THEUS, R., BODE, K. und KOPP, H.: Kanalschalter mit Transistoren für Trägerfrequenz-Fernsprech-Systeme. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 465 bis 469
- THIES, G.: Aufbau und Regelung des Unitmelter. Regelungstechnik **8** (1960) 9 bis 15
- TNILO, P.: Ein Ortskurvenschreiber für Frequenzen zwischen 10 kHz und 200 MHz. Frequenz **14** (1960) 403 bis 412
- TOBIES, S., FINKBEIN, U. und HOLLE, J.: Tetroden-Fernsehsender für das Band IV/V. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 332 bis 338
- TÖFFLINGER, K.: Zur Bewertung elektrischer Triebfahrzeuge und ihrer Fahrmotoren. Elektrische Bahnen **31** (1960) 1 bis 7
- TOUSSAINT, H.-N.: Schwingschaltungen. Nachrichtentechnische Fachberichte **18** (1960) 95 bis 103
- TOUSSAINT, H.-N., KESSEL, G. und OTTMANN, A.: Germanium-Tunnelioden für das Hochfrequenzgebiet. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 191 bis 195
- TRENDELENBURG, F.: Methods for Analysis of Impurities in Solids. J. sci. industr. Res. India **19a** (1960) 542 bis 549
- V. TRENTINI, G.: Flachantenne mit periodisch gebogenem Leiter. Frequenz **14** (1960) 239 bis 243
- UEBERSCHUSS, A. und RAUCH, W.: Das Einzungen-Resonanzrelais, ein vielseitig verwendbares Bauelement. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 300 bis 305
- UEBERSCHUSS, A. und RAUCH, W.: Mechanische Schwingsysteme als einfache Bauteile für Signalübertragungen. Frequenz **14** (1960) 363 bis 368
- UITTING, O.: Landgewinnung und Erzeugung von Energie aus der Kattara-Senke in Ägypten. Umschau **60** (1960) 443
- UITTING, O., HAAGER, K. und HARTMANN, F.: Gesichtspunkte für die Planung von reinen Pumpspeicherwerken. Elektrizitätswirtschaft **13** (1960) 307 bis 315
- UNGRUH, F.: Gleichlaufantriebe mit elektrischen Wellen. Elektro-Technik **42** (1960) 61 bis 63
- UNGRUH, F. und SCHNEIDER, J.: Berechnung elektrischer Ausgleichswellen bei Reihenschaltung der Ständerwicklungen. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 366 bis 369
- UNTERBERGER, E. und BAUCIK, G.: Die Beleuchtung von Hochspannungs-Innenanlagen über 60 kV. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 266 bis 269
- VEITH, H.: Einfluß der Feuchte auf die elektrischen Kenngrößen von Kondensatoren. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 519 bis 523
- VEITH, W.: Laufzeitröhren. Ionen und Elektronen **60** (1960) 16 bis 18
- VEITH, W.: Parametrische Verstärker unter Verwendung von Elektronenstrahlen. Nachrichtentechnische Fachberichte **21** (1960) 60 bis 64
- VEITH, W.: Stand der Erzeugung und Verstärkung von Millimeterwellen. Nachrichtentechnische Zeitschrift **13** (1960) 592 bis 597
- VOGL, H. und STRÖLE, D.: TRANSIDYN-Regelungen für Walzwerk-antriebe. Regelungstechnik **8** (1960) 194 bis 201
- VOLK, P.: Erfahrungen mit neuen Bauelementen für die Steuerung von Werkzeugmaschinen. Industrie Anzeiger **82** (1960) 1690 bis 1692
- VOLKMANN, W.: Die Berechnung einphasiger Boucherat-Schaltungen mit Gleichrichterbelastung. Archiv für Elektrotechnik **45** (1960) 399 bis 406
- WEBER, F.: Regelungstechnische Gesichtspunkte bei der Planung von Klimaanlage. Heizung Lüftung Haustechnik **11** (1960) 257 bis 263
- WEBER, R., WEISS, H. und RUPPRECHT, H.: Über die galvanomagnetischen Eigenschaften von InSb-Einkristallen mit Te-Datierung. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 783 bis 794
- WEIS, L.: Außenleuchten (Montage, Wartung, Sicherheit). Straße und Tiefbau **3** (1960) Beilage 4 bis 8
- WEIS, L.: Neuzeitliche Beleuchtung von Betriebsräumen der Landwirtschaft und des Weinbau. Energiewirtschaftliche Fragen **9** (DLG-Sonderheft 1959/60) 248 bis 250
- WEIS, L.: Neue Sicherheitsvorschriften für Leuchten. (1960: 8. bis 11. Fortsetzung) Lichttechnik **12** (1960) 10 bis 13; 54 bis 56; 106 bis 108; 170 bis 176
- WEISS, H.: III-V-Verbindungen als Halbleiter. Solid State Physics in Electronics and Telecommunications (1960) 794 bis 801
- WEISS, H., RUPPRECHT, H. und WEBER, R.: Über die galvanomagnetischen Eigenschaften von InSb-Einkristallen mit Te-Datierung. Zeitschrift für Naturforschung **15a** (1960) 783 bis 794
- WEISS, H.: Zur Messung von magnetischen Feldern mit Hall-Generatoren. Solid-State Electronics **1** (1960) 225 bis 233
- WEISS, H.: Neuere Fortschritte auf dem Gebiet der Halbleitenden III-V-Verbindungen. Scientia Electrica VI (1960) 1 bis 12
- WEITBRECHT, W.: Kontaktlose Steuerungen in der Industrie. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 889 bis 895
- WELZ, E. und JUNG, M.: Schutzgaskontakte in Koaxialrelais für den Nachrichten-Weitverkehr. Frequenz **14** (1960) 392 bis 396
- WENK, P. und ESCHÉ, R.: Moderne Ultraschallanlagen für Reinigung, Entgasung und Dispergierung. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 97 bis 104
- WENZEL, K. und HELD, W.: Dielektrische Verluste durch Ionenleitung im geschichteten Dielektrikum. Elektrotechnische Zeitschrift A **81** (1960) 121 bis 127
- WERNZ, W.: Hafenbeleuchtung mit Xenonlampen. Schiff und Hafen **12** (1960) 911 und 912
- WERNZ, W.: Jahrmarktbeleuchtung. Elektro-Nachrichten **60** (1960) 8
- WICHMANN, A.: Der Temperatureinfluß bei Isolationsprüfungen mit Gleichspannung an elektrischen Maschinen. Elektrotechnische Zeitschrift B **12** (1960) 237 bis 243
- WIEDEMANN, TH.: Nutzen und Bewährung psychologischer Eignungsuntersuchungen. Der Maschinenmarkt **66** (1960) 38 bis 40
- WIENECKE, R. und BURHORN, F.: Plasmazusammensetzung, Plasmadichte, Enthalpie und spezifische Wärme von Sauerstoff bei 1, 3, 10, 30 atm im Temperaturbereich zwischen 1000 und 3000°K. Zeitschrift für Physikalische Chemie **213** (1960) 37 bis 43
- WIESNER, R.: Physikalische und technologische Grenzen des Hochfrequenztransistors. Nachrichtentechnische Fachberichte **18** (1960) 19 bis 29



- WILMIG, H. und HEMMER, N.: Das überwachte Sicherheitssystem für Kernreaktoren. *Atompraxis* **6** (1960) 392 bis 396
- WILPERNING, H.: Über den Einfluß der Masthöhe von Freileitungen auf die Häufigkeit rückwärtiger Überschläge. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 14 bis 19
- WITTIG, E.: International Review of 1959 (Deutscher Beitrag u. a.). *Light and Lighting* **53** (1960) 85, 91, 93, 99, 101, 102, 103 bis 105
- WITTIG, E.: Berechnung direkter Lichtströme in Innenräumen mittels einer Integrieranlage. *Lichttechnik* **12** (1960) 493 bis 496
- WOLTERS DORF, F.: Heißläufermeldegerät der Bauart Siemens & Halske AG. *Signal und Draht* **52** (1960) 92 bis 95
- ZINKE, O. und STRÖHR, W.: Wege zum optimalen Breitband-Rundstrahler. *Frequenz* **14** (1960) 26 bis 35
- ZOTT, R. und ROZEHNAL, G.: Die neue Fernschreib-Speichervermittlung in Wiesbaden. *Polizei, Technik und Verkehr, Sonderausgabe IV/60*, 67 bis 72
- ZÖCKLER, R.: Kabel und Leitungen in der Nachrichtentechnik. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 506 bis 508
- ZÜCKLER, K.: Nachtrag zum Referat: Siliziumkarbid, Eigenschaften und Anwendung als Material für spannungsabhängige Widerstände. *Halbleiterprobleme Bd. V* (1960) 191 bis 202
- ZUBE, B., BRETTSCHEIDER, G. und DORSCH, H.: Messungen mit Estorffischen Funkenstrecken in Hochspannungsanlagen. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 617 bis 622
- ZWETZ, H., FRIEDEMANN, W. und MÖRK, P.: Einsatz von Dampfkraftwerken im Netzbetrieb als regelungstechnische Aufgabe. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **81** (1960) 185 bis 193

## Nachtrag 1959

- BARTL, G. K.: Laufkraftwerke an Mittelgebirgsflüssen. *Elektrotechnik* **42** (1959) 452 bis 454
- BÄUERLEIN, R.: Messung der Energie zur Bildung eines Gitterdefektes in verschiedenen  $A^{III}B^V$ -Verbindungen durch Elektronenbestrahlung. *Zeitschrift für Naturforschung* **14a** (1959) 1069 bis 1071
- EDELMANN, H.: Allgemeine Grundlagen der Netzberechnung mit Inzidenzmatrizen. *Archiv für Elektrotechnik* **44** (1959) 419 bis 440
- FRÜH, K. F.: Pneumatischer Meßumformer für Differenzdruck. *Regelungstechnische Praxis* **1** (1959) 124 bis 129
- GLÜNDER, G.: Zentrale Fernüberwachung von Nachrichtenanlagen der Weitverkehrstechnik. *Nachrichtentechnische Fachberichte* **16** (1959) 31 bis 34
- GREMMELMAIER, R. und WELKER, H.: Properties and Applications of some binary and ternary Semiconducting Compounds. *The Institution of Electrical Engineering* **106 B** (1959) 850 bis 853
- GREMMELMAIER, R. und HENKEL, H.-J.: GaAs-Tunnel-Dioden. *Zeitschrift für Naturforschung* **14a** (1959) 1072 und 1073
- HALLER-WEDEL, E.: Die Einflußgrößenrechnung (Korrelationsrechnung) als statistisches Hilfsmittel der Arbeitszeit-Vorgabe. *Qualitätskontrolle* **4** (1959) 107 bis 112

- HAUS, B.: Planung, Projektierung und Bau von gekapselten Niederspannungs-Baukastenverteilungen. *Deutsches Elektrohanderwerk* **35** (1959) 594 bis 597
- HENKEL, H.-J. und GREMMELMAIER, R.: GaAs-Tunnel-Dioden. *Zeitschrift für Naturforschung* **14a** (1959) 1072 und 1073
- HILDENBRAND, G.: Der Siemens-Argonaut-Reaktor SAR. *Die Atomwirtschaft* **4** (1959) 479 bis 487
- HINZE, A.: Der Zauberkasten. Die magnetische Bildaufzeichnungsanlage System »Ampex« *Ton-Magazin H* **6** (1959) 26 und 27, 69
- KAULFERSCH, H.: Möglichkeiten der Hilfsstrom-Kontrolle bei selbstabgleichenden Kompensations-Meßgeräten. *Archiv für technisches Messen Lfg.* **287** (1959) R 133 bis R 136
- LANGHÄRIG, G.: Kompensationsschreiber mit stetigem Abgleich IV. Kreisblattschreiber und Anwendungen. *Archiv für technisches Messen Lfg.* **287** (1959) J 034-8
- LARSEN, H.: Delay Distortion and Equalization in  $H_{01}$  Waveguides for Long-Range Communication. *Proc. IEE Part B* **106** (1959) 188 bis 195
- MERKEL, H.: Zur Feinreinigung des Galliums. *Journal of the Less-Common Metals* **1** (1959) 390 bis 395
- MEYER, H.: Die Verwendung von Kunstharzen bei Hochspannungswicklungen elektrischer Maschinen. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **80** (1959) 719 bis 724
- MEYER, M.: Einspeisung eines stromrichter gespeisten Gleichstromantriebes auf einen drehstromseitigen Sammelschienenkurzschluß. *Elektrotechnische Zeitschrift A* **80** (1959) 784 bis 787
- OSWALD, F.: Zur Meßgenauigkeit bei der Bestimmung der Absorptionskonstanten von Halbleitern im infraroten Spektralbereich. *Optik* **16** (1959) 527 bis 537
- PARLIK, E.: Das TELEPNEU-Multipliziergerät im pneumatischen Einheitsregelsystem. *Regelungstechnik* **7** (1959) 433 bis 436
- PIEFKE, G.: The influence of helix wire diameter on the modes in a helix wave guide with application to a mode filter for  $H_{01}$ -mode transmission. *Proc. IEE B* **106** (1959) 110 bis 118
- PIEFKE, G.: The transmission characteristics of a corrugated guide. *Trans. IRE Antennas and Propagation* **7** (1959) 183 bis 190
- SIMON, H.: Über den Wirkungsgrad bekannter Codesysteme bei der Überlagerung mehrerer Merkmale in halbautomatischen Dokumentationsselektoren. *Nachr. Dok.* **10** (1959) 184 bis 189
- SCHENK, E.: Der Fernschreib-Verzerrungsmelder, ein automatisches Prüfgerät. *Nachrichtentechnische Zeitschrift* **12** (1959) 609 bis 612
- SCHUMM, E.: Fernauslösung von Hochspannungsschaltern durch Trägerfrequenzsignale. *Elektrotechnische Zeitschrift B* **11** (1959) 471 bis 475
- WEBER, E.: Betrachtung der Methoden der Fernwirktechnik insbesondere der Fernmeßtechnik mit Hilfe der Informationstheorie. *Nachrichtentechnische Fachberichte* **16** (1959) 9 bis 14
- WELKER, H. und GREMMELMAIER, R.: Properties and Applications of some binary and ternary Semiconducting Compounds. *The Institution of Electrical Engineering* **106 B** (1959) 850 bis 853